

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ
A ROBOTIKY

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS
AND ROBOTICS

PREDIKCE NÁKLADŮ NA ZÁRUKY ZA JAKOST

PREDICTION OF WARRANTY COSTS

DISERTAČNÍ PRÁCE
PHD THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Ing. Michal VINTR

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

doc. Ing. Vasilij TEŠ, CSc.

BRNO 2009

Abstrakt

Disertační práce se zabývá problematikou záručních nákladů a jejich predikce při poskytování jednorozměrných a zejména dvourozměrných záruk za jakost.

Práce je zaměřena na návrh prakticky použitelných metod a postupů, které umožní dodavatelům a výrobcům získat informace nezbytné pro racionální rozhodování při poskytování záruk za jakost u složitých produktů již v počátečních etapách jejich životního cyklu.

V úvodu práce je přehledně shrnut a zhodnocen současný stav řešené problematiky. V první stěžejní části práce jsou analyzovány možnosti predikce záručních nákladů u složitých produktů při použití jednorozměrných a zejména dvourozměrných záruk za jakost. Tato část práce obsahuje podrobný rozbor možností predikce bezporuchovosti systémů a prvků. V návaznosti je navržen způsob začlenění predikce záručních nákladů do metody FMEA/FMECA. V druhé stěžejní části práce je navržen postup, který umožňuje stanovit okamžik ukončení záruční doby při použití dvourozměrné záruky, když nejsou k dispozici dostatečné informace z reklamačních řízení. Tato část práce je doplněna praktickou aplikací navrženého postupu. Ve třetí stěžejní části je charakterizován časový vývoj záručních nákladů a souvisejících ukazatelů a navržen způsob predikce jejich časového vývoje. V této části práce je také navržen způsob průběžného sledování a vyhodnocování záručních nákladů a souvisejících ukazatelů.

Klíčová slova

Záruka za jakost, záruční náklady, dvourozměrná záruka za jakost, predikce, bezporuchovost

Abstract

The thesis deals with warranty costs and their prediction when providing one-dimensional and two-dimensional warranties.

This thesis focuses on the presentation of practically applied methods and procedures which enable suppliers and manufacturers to get the information necessary for rational decision making while providing warranties for complex products as early as in the initial stages of their life cycle.

The thesis starts with a concise summary and evaluation of a present state of the issue. In the first part of the thesis the possibilities of warranty costs prediction for complex products are analyzed when using one-dimensional and namely two-dimensional quality warranties. In this part there is a detailed analysis of different possibilities when predicting systems and items reliability. Next, there is introduced the way of integrating warranty costs prediction into the FMEA/FMECA method. In the second part of the thesis there is specified the procedure for determining the moment of warranty period termination using two-dimensional warranty in case sufficient data from complaint procedure is not available. In the third part the time development of warranty costs and related measures are determined, and the way of prediction of their time development is suggested. The way of continuous monitoring, and evaluating warranty costs and related measures are also introduced in this part of the thesis.

Key Words

Warranty, warranty costs, two-dimensional warranty, prediction, reliability

Bibliografická citace publikace

VINTR, M. *Predikce nákladů na záruky za jakost*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2009. 117 s. Vedoucí disertační práce doc. Ing. Vasilij Teš, CSc.

Prohlášení autora

Prohlašuji, že jsem disertační práci „Predikce nákladů na záruky za jakost“ vypracoval pod vedením doc. Ing. Vasilije Teše, CSc., samostatně na základě vlastních zjištění a pramenů uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Brně dne 30. října 2009

Ing. Michal VINTR

Poděkování

Na tomto místě děkuji svému školiteli doc. Ing. Vasiliji Tešovi, CSc., za jeho vedení při studiu a pomoc při tvorbě disertační práce.

Děkuji také mým rodičům za podporu během celého studia. Zvláště děkuji mému otci za cenné rady a připomínky k disertační práci.

V neposlední řadě děkuji své manželce Lence za její vytrvalou podporu.

Obsah

1	ÚVOD	11
2	HISTORICKÝ VÝVOJ A SOUČASNÝ STAV ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	13
2.1	Historický vývoj záruk za jakost a predikce záručních nákladů.....	13
2.2	Vymezení základních pojmů	15
2.3	Současný stav v oblasti záruk za jakost	16
2.3.1	<i>Záruky za jakost a související činitele</i>	<i>16</i>
2.3.2	<i>Typy záruk za jakost</i>	<i>18</i>
2.4	Současný stav v oblasti predikce záručních nákladů	20
2.4.1	<i>Vymezení souvislostí.....</i>	<i>20</i>
2.4.2	<i>Predikce v oblasti jednorozměrných záruk za jakost</i>	<i>21</i>
2.4.3	<i>Predikce v oblasti dvou a vícerozměrných záruk za jakost</i>	<i>24</i>
2.5	Shrnutí a závěry zhodnocení současného stavu	27
3	PREDIKCE ZÁRUČNÍCH NÁKLADŮ U SLOŽITÝCH PRODUKTŮ	28
3.1	Úvod	28
3.2	Dekompozice systému na subsystémy a prvky.....	29
3.3	Identifikace poruch prvků	29
3.4	Predikce bezporuchovosti prvků.....	30
3.4.1	<i>Databáze bezporuchovosti prvků</i>	<i>31</i>
3.4.2	<i>Metodiky predikce bezporuchovosti prvků</i>	<i>33</i>
3.4.3	<i>Dílčí shrnutí predikce bezporuchovosti prvků.....</i>	<i>39</i>
3.5	Určení způsobů odstranění poruch prvků a predikce souvisejících nákladů	39
3.5.1	<i>Určení způsobů odstranění poruch prvků</i>	<i>39</i>
3.5.2	<i>Predikce nákladů souvisejících s odstraněním poruch prvků</i>	<i>41</i>
3.6	Predikce počtu poruch prvků v záruční době.....	42
3.7	Predikce záručních nákladů pro celý systém	44
3.8	Dílčí závěr.....	45
4	ZAČLENĚNÍ PREDIKCE ZÁRUČNÍCH NÁKLADŮ DO FMEA/FMECA.....	46
4.1	Metoda FMEA/FMECA	46
4.2	Dokumentace FMEA/FMECA	47
4.3	Začlenění predikce záručních nákladů do FMEA/FMECA.....	48
4.4	Dílčí závěr.....	49
5	STANOVENÍ OKAMŽIKU UKONČENÍ ZÁRUČNÍ DOBY PŘI POUŽITÍ DVOUROZMĚRNÉ ZÁRUKY	52
5.1	Úvod	52

5.2	Průběh záruční doby a okamžik jejího ukončení	52
5.2.1	<i>Průběh záruční doby</i>	52
5.2.2	<i>Možnosti zjišťování okamžiku ukončení záruční doby</i>	53
5.3	Predikce okamžiku ukončení záruční doby.....	54
5.3.1	<i>Postup predikce okamžiku ukončení záruční doby</i>	55
5.3.2	<i>Praktická aplikace predikce okamžiku ukončení záruční doby</i>	59
5.4	Možnosti využití získaných informací	62
5.4.1	<i>Predikce záručních nákladů při použití dvourozměrné záruky</i>	62
5.4.2	<i>Analýza vlivu změn parametrů dvourozměrné záruky na záruční náklady</i>	64
5.4.3	<i>Návrh parametrů dvourozměrné záruky při daných záručních nákladech</i>	66
5.5	Dílčí závěr.....	68
6	PREDIKCE ČASOVÉHO VÝVOJE ZÁRUČNÍCH NÁKLADŮ	69
6.1	Úvod.....	69
6.2	Teoretický model časového vývoje záručních nákladů.....	69
6.3	Predikce časového vývoje záručních nákladů a souvisejících ukazatelů	73
6.3.1	<i>Predikce časového vývoje počtu reklamací v záruční době</i>	74
6.3.2	<i>Predikce časového vývoje nákladů souvisejících s vyřízením reklamací</i>	75
6.3.3	<i>Predikce časového vývoje záručních nákladů</i>	76
6.4	Dílčí závěr.....	77
7	PRŮBĚŽNÉ SLEDOVÁNÍ A VYHODNOCOVÁNÍ ZÁRUČNÍCH NÁKLADŮ A SOUVISEJÍCÍCH UKAZATELŮ	78
7.1	Úvod.....	78
7.2	Sběr dat	78
7.3	Skutečný časový vývoj záručních nákladů a souvisejících ukazatelů.....	78
7.4	Dílčí závěr.....	81
8	ZÁVĚR.....	82
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	83
	SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ	87
	SEZNAM PŘÍLOH.....	93
	SEZNAM PUBLIKACÍ AUTORA K DANÉ PROBLEMATICE	94
	VYBRANÉ OHLASY NA ZVEŘEJNĚNÉ VÝSLEDKY DISERTAČNÍ PRÁCE	98

1 Úvod

V současné době je ve většině vyspělých zemí, včetně České republiky, téměř samozřejmostí, že jsou na dodávané produkty poskytovány záruky za jejich jakost. Nejvýznamnější roli přitom mají záruky za jakost při dodávkách produktů koncovým zákazníkům – spotřebitelům.

V rámci České republiky a celé Evropské unie je význam záruk za jakost dán zejména dvěma následujícími faktory. V první řadě, v rámci ochrany spotřebitelů, na kterou je v EU kladen značný důraz, vstoupila v červnu roku 1999 v platnost směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 1999/44/ES, o některých aspektech prodeje spotřebního zboží a záruk na toto zboží, která nařizuje, aby nové prodávané spotřební produkty byly kryty minimálně dvouletou zárukou za jakost. V ČR byly požadavky této směrnice implementovány přijetím novely občanského zákoníku (zákon č. 136/2002 Sb.), čímž se od ledna 2003 významně změnil podmínky poskytování záruk za jakost, podstatně se zvýšila ochrana spotřebitele a začala platit povinnost v určitých případech poskytovat dvouletou záruku. V druhé řadě se poskytování záruk za jakost stalo významným a běžně používaným nástrojem konkurenčního boje mezi dodavateli, kteří se snaží získat zákazníky poskytováním záruk nad rámec stanovený legislativou.

Značný význam v oblasti záruk za jakost, který je však často podceňován, představuje skutečnost, že poskytování záruk za jakost má pro dodavatele nezanedbatelné ekonomické dopady. Poskytování záruk je totiž vždy provázeno dodatečnými náklady, nazývanými záruční náklady, které jsou obvykle chápány jako náklady vynaložené dodavatelem při vyřizování reklamací v záruční době. Je tedy zřejmé, že všechna racionální rozhodnutí spojená se stanovením rozsahu poskytovaných záruk by měla být podložena odpovídající analýzou, jejímž základem je predikce výše záručních nákladů.

Zvláštní důraz je v disertační práci kladen na problematiku takzvaných vícerozměrných záruk za jakost a zejména na jejich dvourozměrnou variantu. Ta je v současnosti velmi moderní a s jejím poskytováním se můžeme setkat zejména v automobilovém průmyslu, který je jedním z nejvýznamnějších průmyslových odvětví v České republice. Při použití vícerozměrných záruk je okamžik ukončení záruční doby definován více způsoby. U dvourozměrné záruky nejčastěji garantovanou kalendářní dobou používání a garantovanou dobou provozu, přičemž záruční doba končí dosažením kterékoliv z uvedených hodnot.

V současnosti jsou široce rozpracovány soubory metod, které umožňují predikovat záruční náklady a jejich vývoj v čase, případně vývoj počtu reklamací produktu. Metody jsou založeny na základním předpokladu, že jsou s produktem zkušenosti, a tudíž jsou k dispozici jeho „charakteristiky“ jako celku. Uvedený fakt značně omezuje praktickou využitelnost zmíněných metod zejména u nových produktů v raných etapách životního cyklu, u složitých produktů složených z mnoha částí a u produktů, které se neopakují (výrobní linky, výrobní komplexy...).

S predikcí záručních nákladů při použití vícerozměrných záruk za jakost úzce souvisí problematika stanovení okamžiku ukončení záruční doby. Při použití vícerozměrné záruky za jakost jsou záruční náklady ovlivněny nejen „charakteristikami“ produktu, ale také způsobem, jakým je produkt používán (s jakou intenzitou je používán). Současné metody tento fakt dostatečně nezohledňují, a pokud ano, tak jsou založeny na omezujícím předpokladu, že jsou k dispozici data z reklamačních řízení.

Je třeba také zmínit, že problematice predikce záručních nákladů, i přes její význam, nebyla a zatím není v České republice věnována dostatečná pozornost a dosud u nás nebyla vydána žádná publikace komplexně se zabývající danou problematikou.

Vzhledem k dosud uvedenému, s ohledem na výsledky provedené analýzy současného stavu (viz kapitola 2) a potřeby praxe, byl stanoven hlavní cíl disertační práce následovně:

- Navrhnout prakticky použitelné metody a postupy, které umožní dodavatelům získat informace nezbytné pro racionální rozhodování při poskytování jednorozměrných a zejména dvourozměrných záruk za jakost u složitých produktů již v počátečních etapách jejich životního cyklu.

V rámci tohoto hlavního cíle byly vytyčeny následující čtyři dílčí cíle:

- Analyzovat možnosti predikce záručních nákladů při použití jednorozměrných a zejména dvourozměrných záruk za jakost.
- Navrhnout postup predikce záručních nákladů u složitých produktů založený na znalosti ukazatelů bezporuchovosti a udržitelnosti jednotlivých prvků produktu.
- Navrhnout postup umožňující predikci záručních nákladů při použití dvourozměrné záruky, a to zejména v situacích, kdy nejsou k dispozici dostatečné informace z reklamačních řízení.
- Navrhnout způsob predikce časového vývoje záručních nákladů a souvisejících ukazatelů a v návaznosti navrhnout způsob průběžného sledování a vyhodnocování záručních nákladů a souvisejících ukazatelů.

2 Historický vývoj a současný stav řešené problematiky

2.1 Historický vývoj záruk za jakost a predikce záručních nákladů

Konkrétní období vzniku záruk není přesně známo. Historické důkazy o jejich existenci nacházíme již v době 2000 př. n. l., není však pochyb, že záruky doprovázely lidstvo od dob, kdy lidé začali provádět výměny zboží a služeb, kdy začali obchodovat.

První dokumentovaná zmínka o obchodu a zákaznické stížnosti (reklamaci) byla nalezena na hliněných deskách na bývalém území Babylonu a pochází z doby 2000 let př. n. l. Dle dobového nálezu zákazník zaslal prodejci měděných ingotů zprávu o své nespokojenosti. Dle této zprávy byl zákazník velmi rozhořčen a uražen prodejcovým jednáním. Zákazník obvinil prodejce, že nesplnil své sliby, a žádal ho o navrácení peněz za jím dodané nekvalitní měděné ingoty. Dále zákazník upozornil prodejce, že bude ingoty přebírat jen na svém pozemku a bude je přebírat jednotlivě. Zákazník též upozornil prodejce, že v budoucnu bude uplatňovat právo odmítnout převzetí nekvalitních ingotů [3].

První doložený případ využití záruk za jakost byl nalezen v babylonském zákoníku zabývajícím se výrobky a službami, který pochází asi z 20. století př. n. l. Tento zákoník stanovoval náhrady typu „oko za oko“. Například pokud stavitel domů neprovedl svou práci řádně a z toho důvodu se dům zřítíl a usmrtil majitele, stavitel zaplatil za svoji nedbalost vlastním životem [3].

Důkaz o jednom z prvních případů záruky poskytnuté zákazníkovi byl nalezen na hliněné desce mezi troskami Nippuru ve starověkém Babylonu. Tento nález se datuje k roku 429 př. n. l. a týká se zlatého prstenu se smaragdem. Prodejce zaručoval, že smaragd po dobu dvaceti let z prstenu nevypadne. Pokud smaragd vypadl před uplynutím dvaceti let, prodejce souhlasil s vyplacením náhrady škody kupujícímu ve výši deseti mana (tehdejší jednotka hmotnosti) stříbra [16].

Významná změna v oblasti používání záruk nastala v 16. století n. l. v době průmyslové revoluce, kdy se začaly prodávat výrobky a poskytovat služby s označením „bez záruky“. V té době začaly některé společnosti využívat záruky jako součást konkurenčního boje. Nicméně většina lidí považovala záruky týkající se produktů přinejlepším za chatrné sliby, protože výrobci a poskytovatelé služeb často nedodržovali své záruční závazky [3]. V této době začal být uplatňován princip „caveat emptor“ (zákazník se musí chránit sám).

Proto nebylo neobvyklé, že plnění povinností vyplývajících ze záruk bylo vynucováno násilím ze strany kupujících. Aby se předcházelo problémům, některé národy stanovily ve svých zákonech tresty pro nedbalé prodejce. Nutno podotknout, že mnohdy to byly tresty nejvyšší. Postupem času začali prodejci záruky využívat ve svůj prospěch a sami stanovovali náhrady v případě nespokojenosti zákazníka. Tresty za pochybení prodejců už nebyly tak kruté.

Ve dvacátém století v souvislosti nejen se zvyšující se složitostí produktů, ale hlavně jejich snadnou dostupností pro spotřebitele došlo k rozvoji v poskytování záruk. Avšak podmínky záruk si nadále stanovovali prodejci a případné spory řešily soudy, jejichž rozhodnutí byla v souladu se záručními podmínkami prodejce bez ohledu na spravedlivost těchto podmínek. V důsledku toho a v důsledku nezbytnosti ochrany zákazníků byla ve Spojených státech americká problematika záruk začleněna do obchodního zákoníku a v roce 1975 byl vydán tzv. Magnuson-Mossův záruční zákon [51]. Ten ustanovil právní rámec pro ochranu

zákazníků a učinil dodavatele právně zodpovědné za nízkou kvalitu. Spojené státy americké byly následovány dalšími zeměmi a v dnešní době si už ve většině vyspělých zemí náhrady nestanovují sami prodejci, ale záruky a jejich poskytování jsou upraveny platnou legislativou.

Historický vývoj v oblasti predikce záručních nákladů úzce souvisí s vývojem v oblasti teorie spolehlivosti a aplikované statistiky, konkrétně stochastických procesů. První práce zabývající se problematikou predikce záručních nákladů pro nejjednodušší typy záruk byly publikovány na přelomu 60. a 70. let minulého století. V průběhu 80. a 90. let docházelo ke značnému rozvoji a byly publikovány práce pro složitější typy záruk za jakost. První práce v oblasti predikce záručních nákladů při použití dvourozměrných záruk byly publikovány na počátku 90. let minulého století.

Určitým mezníkem v oblasti predikce záručních nákladů bylo v roce 1994 vydání obsáhlé monografie s názvem *Warranty Cost Analysis* [4] následované v roce 1996 monografií *Product Warranty Handbook* [3]. Obě tyto publikace vydané nakladatelstvím Marcel Dekker jsou dodnes celosvětově nejobsáhlejšími publikacemi zabývajícími se problematikou záruk a záručních nákladů. Autory obou publikací jsou profesor D. N. P. Murthy z University of Queensland (Brisbane, Austrálie) a profesor W. R. Blischke z University of Southern California (Los Angeles, USA), přičemž zejména první uvedený autor patří celosvětově mezi nejuznávanější odborníky v oboru záruk za jakost a záručních nákladů. V roce 2006 vyšla u vydavatelství Springer-Verlag uvedená dvojice autorů zatím nejnovější kniha z oblasti záruk za jakost s názvem *Warranty Management and Product Manufacture* [21], která se zabývá především systémem managementu záruk a jeho pozicí v systému managementu výrobní organizace.

Na začátku nového milénia byla na světových sympóziích a v prestižních časopisech publikována řada nejnovějších poznatků v oblasti predikce záručních nákladů. Při vyhledání klíčového slova *Warranty* v názvech publikací na stránkách Web of Science [59] je nalezeno téměř 300 záznamů z posledních deseti let.

Mezi nejzajímavější v nedávné době publikované články patří *New product warranty: A literature review* [22] od dvojice autorů D. N. P. Murthy a I. Djamaludin, otištěný v roce 2002 časopisem *International Journal of Production Economics* (vydavatelství Elsevier). Článek obsahuje literární přehled a stručný rozbor významných publikací v oblasti záruk za jakost vydaných v posledních patnácti letech.

Dále je třeba zmínit nedávno publikovaný článek zabývající se doživotními zárukami za jakost a modelováním souvisejících záručních nákladů [5] a článek pojednávající o modelování záručních nákladů za předpokladu neúplných oprav [7].

V oblasti dvourozměrných záruk za jakost stojí za pozornost několik článků zabývajících se modelováním záručních nákladů, případně reklamací, s využitím dat získaných z reklamačních řízení [1], [15], [18], [20], [33], dva články zabývající se volbou politiky údržby a modelováním oprav při použití dvourozměrné záruky za jakost [6], [13] a článek zabývající se rozhodováním mezi opravami nebo výměnami reklamovaných produktů při použití dvourozměrné záruky za jakost [14].

Na internetu pravidelně jednou týdně vychází elektronický časopis *Warranty Week*[®] [61], který je vydáván v USA a má přiděleno ISSN. V časopise jsou mimo jiné pravidelně publikovány aktuální ekonomické ukazatele a vývojové trendy související se zárukami za jakost pro nejruznější průmyslová odvětví.

2.2 Vymezení základních pojmů

V oblasti záruk za jakost není definována jednotná terminologie, proto je pro potřeby disertační práce nezbytné vymezit alespoň základní pojmy, které budou dále používány. Pojmy byly převzaty z názvoslovných norem z oblasti kvality (ČSN EN ISO 9000:2006 [36]) a spolehlivosti (ČSN IEC 50(191) [37]), z platné legislativy (Zákon o ochraně spotřebitele [55]) nebo byly zformulovány na základě zahraniční literatury z oblasti záruk za jakost (viz [3], [4], [21]) a domácí literatury z oblasti spolehlivosti (viz [12]). Za českým pojmem je v závorce uveden jeho ekvivalent v angličtině.

Produkt (product) mohou být dle [36] služby (např. přeprava), software (např. počítačový program), hardware (např. mechanická část motoru) a zpracované materiály (např. mazivo). Z hlediska uvedeného rozdělení se disertační práce zabývá zejména zárukami za jakost hardware.

Dále bude v souladu s [36] používán termín *výrobek (product)* ve smyslu vyrobený předmět, materiál apod. (tj. pokud jde o výsledek výrobního procesu).

Dodavatel (supplier) je dle [36] organizace nebo osoba, která poskytuje produkt. Dodavatelem může být výrobce, distributor, maloobchodník, prodejce, poskytovatel služby nebo informací.

Dodavatel je považován za stranu zodpovědnou za zajištění plnění záručních podmínek.

Zákazník (customer) je dle [36] organizace nebo osoba, která přijímá produkt. Zákazníkem může být spotřebitel, klient, konečný uživatel, maloobchodník, příjemce, odběratel.

Jakost, kvalita (quality) je dle [36] stupeň splnění požadavků souborem inherentních znaků.

Vada (defect) je dle [36] nesplnění požadavku ve vztahu k zamýšlenému nebo specifikovanému použití.

Záruka (warranty) je slib nebo ujištění dodavatele vůči zákazníkovi, že produkt je nebo bude takový, jak je prezentován. Záruka je považována za smluvní dohodu mezi zákazníkem a dodavatelem, která vstupuje v platnost ihned po koupi nebo dodání produktu.

Záruční doba (warranty period) je doba, po kterou platí záruka. Z hlediska legislativy se jedná o dobu (lhůtu) na uplatnění práva z odpovědnosti za vady výrobků a služeb.

Reklamací (complaint, claim) se dle [55] rozumí uplatnění práva z odpovědnosti za vady výrobků a služeb.

Reklamacie je v záruční době uplatněný požadavek na sjednání nápravy, v případě prodeje produktu v rozporu s platnými předpisy a v rozporu se smlouvou. Reklamacie mohou být oprávněné a neoprávněné. Reklamacie je neoprávněná, pokud typ vady není kryt zárukou, pokud záruka skončila, pokud je podvodná (tj. produkt nemá vadu, která je reklamována), pokud záruka zanikla z důvodu nesprávného použití produktu nebo nesprávného zacházení s produktem.

Objekt (entity) je dle [37] jakákoliv část, součást, zařízení, část systému, funkční jednotka, přístroj nebo systém, s kterým je možné se individuálně zabývat.

Pojem objekt je vymezen především pro potřeby objasnění dále uvedených pojmů. Mimo dále uvedené pojmy nebude pojem objekt používán.

Prvek (item) je objekt, který je na dané úrovni považován za dále nedělitelný.

Systém (system) je soubor prvků určený k plnění předepsaných funkcí, charakterizovaný strukturou, vazebností mezi prvky a vztahem (vazbami) k okolí.

Porucha (failure) je dle [37] jev spočívající v ukončení schopnosti objektu plnit požadovanou funkci.

Obnova (restoration) je dle [37] jev, kdy objekt po poruchovém stavu opět získá schopnost plnit požadovanou funkci.

Spolehlivost (dependability) je dle [37] definována jako souhrnný termín používaný pro popis pohotovosti a činitelů, které ji ovlivňují: bezporuchovost, udržovatelnost a zajištěnost údržby.

Bezporuchovost (reliability) je dle [37] definována jako schopnost objektu plnit požadovanou funkci v daných podmínkách a v daném časovém intervalu.

Udržovatelnost (maintainability) je dle [37] definována jako schopnost objektu v daných podmínkách používání setrvat ve stavu, nebo vrátit se do stavu, v němž může plnit požadovanou funkci, jestliže se údržba provádí v daných podmínkách a používají se stanovené postupy.

2.3 Současný stav v oblasti záruk za jakost

2.3.1 Záruky za jakost a související činitele

V současné době je záruka za jakost chápána jako slib nebo ujištění dodavatele vůči zákazníkovi, že produkt je nebo bude takový, jak je prezentován. Záruka je přitom považována za smluvní dohodu mezi zákazníkem a dodavatelem, která vstupuje v platnost ihned po koupi nebo dodání produktu. Jejím smyslem je ustavit odpovědnosti mezi dodavatelem a zákazníkem v případě neschopnosti produktu plnit požadované funkce nebo v případě nesprávného provedení produktu. Konkrétně záruka vymezuje garantovanou kvalitu a rozsah kompenzací, které budou zákazníkovi poskytnuty v případě nedodržení stanovené kvality. Na druhé straně záruka také zpravidla vymezuje podmínky provozu a údržby, za kterých poskytnutá záruka platí a které musí zákazník respektovat.

Záruka za jakost je především ochranou pro obě smluvní strany, zákazníka a dodavatele. Z hlediska zákazníka záruka stanovuje prostředky k náhradě, pokud produkt, který je správně používán, není schopen plnit požadované funkce nebo není správně proveden. Dodavatel se naopak může přesným vymezením záručních podmínek chránit proti neoprávněným reklamacím ze strany zákazníka. Pro zákazníka má záruka nezanedbatelný informativní charakter o kvalitě produktu a může být při koupi technicky i cenově srovnatelných produktů rozhodujícím faktorem. Z uvedeného důvodu jsou záruky ze strany dodavatelů často využívány jako propagační nástroj v konkurenčním boji s ostatními dodavateli.

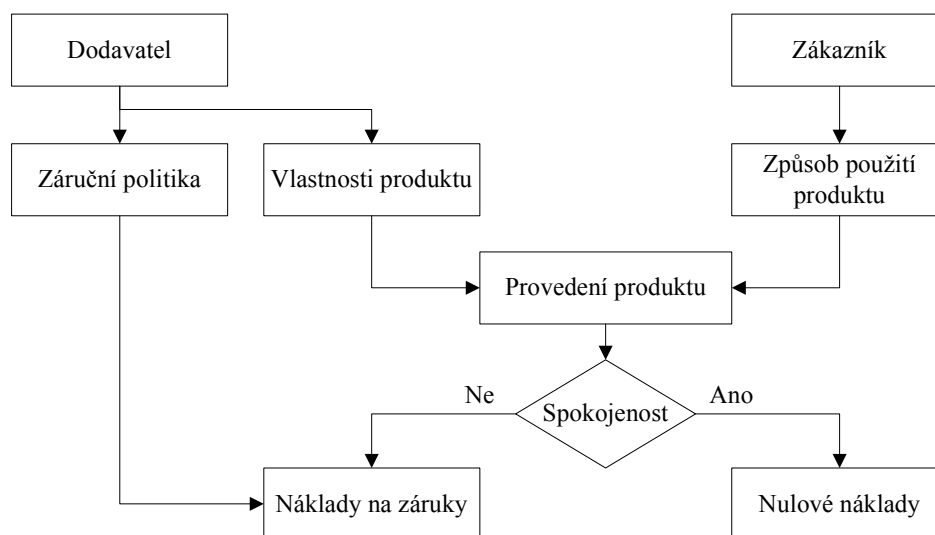
Z hlediska zákazníka je největší výhodou obdržené záruky snížení rizika. Záruka zajišťuje zákazníkovi jistou minimální dobu používání (záruční dobu) bez přehnaných nákladů na opravy a výměny. Z hlediska dodavatele je největší výhodou poskytnuté záruky ochrana před spory ohledně vymezení odpovědností. Dodavatel také může prostřednictvím reklamací získat zpětnou vazbu o kvalitě produkce. Naopak značnou nevýhodou je nutnost vynaložit náklady na vyřízení případných reklamací před skončením záruky (tzv. záruční náklady).

V současnosti není poskytnutí záruky pouze otázkou rozhodnutí dodavatele nebo vzájemné dohody mezi dodavatelem a zákazníkem, ale ve většině vyspělých zemí je poskytování záruk

za jakost upraveno platnou legislativou. V rámci Evropské unie se jedná zejména o směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 1999/44/ES, o některých aspektech prodeje spotřebního zboží a záruk na toto zboží [52], která platí od června 1999. Směrnice mimo jiné nařizuje, aby nové prodávané spotřební produkty byly kryty minimálně dvouletou zárukou za jakost.

V České republice je poskytování záruk za jakost upraveno hned několika platnými zákony. Mezi stěžejní patří zákon č. 513/1991 Sb., obchodní zákoník [54], zákon č. 40/1964 Sb., občanský zákoník [53] a zákon č. 634/1992 Sb., o ochraně spotřebitele [55]. Nejvýznamnějším požadavkem stanoveným naší legislativou v oblasti záruk za jakost je bezesporu povinnost poskytovat v souladu se směrnicí 1999/44/ES tzv. „dvouletou zárukou“. Tato povinnost platí od 1. ledna 2003 v určitých zákonem stanovených případech, konkrétně při prodeji zboží v obchodě dle § 616-627 občanského zákoníku.

V oblasti záruk za jakost se mohou vyskytovat nejrůznější činitele. Z hlediska řešené problematiky a dle odborné literatury [21] jsou nejvýznamnější následující činitele: dodavatel, zákazník, produkt a jeho provedení a záruční politika. Návaznost uvedených činitelů je znázorněna na Obr. 2-1.



Obr. 2-1: Hlavní činitele ovlivňující záruky a jejich návaznosti

Z pohledu řešené problematiky je nejpodstatnějším činitelem záruční politika, což je plán péče o záležitosti týkající se záruk, který stanovuje podmínky záruky, zejména dobu krytí zárukou a způsob vzájemného vyrovnání. Záruční politika bývá charakterizována typem záruky a jejími parametry. Volba a nastavení záruční politiky mají značný vliv na případné záruční náklady.

Nespokojenost zákazníka s vlastnostmi produktu má obvykle za následek reklamaci v záruční době. V případě reklamace musí dodavatel vynaložit jisté náklady, tzv. záruční náklady, které souvisí s vyřízením všech reklamací v záruční době. Pokud je reklamace oprávněná, jedná se o náklady na práci, náklady na nové produkty, na náhradní díly a spotřebovaný materiál, náklady spojené s dopravou reklamovaných produktů, náklady na náhrady zákazníkovi během reklamačního řízení, administrativní náklady, případně další náklady spojené s vyřízením reklamace. Pokud je reklamace neoprávněná, jedná se pouze o administrativní náklady, případně náklady na dopravu. Výše nákladů na záruky závisí zejména na podmínkách záruky

(na typu a parametrech záruky) a na úrovni spolehlivosti produktu. Obecně záruční náklady závisí na dvou veličinách: počtu reklamací během záruční doby a nákladech spojených s vyřízením jednotlivých reklamací v záruční době.

2.3.2 Typy záruk za jakost

V odborné literatuře a v praxi se lze setkat s nejrůznějšími typy záruk za jakost, které jsou v současnosti na základní úrovni rozdělovány následovně [3], [4]:

a) Podle způsobu náhrad zákazníkovi:

- Plná záruka – opravy nebo výměny plně hradí dodavatel;
- Redukovaná záruka – na opravě nebo výměně se finančně podílí i zákazník;
- Kombinovaná záruka – libovolná kombinace plné a redukované záruky.

b) Podle způsobu počítání průběhu záruční doby:

- Obnovovaná záruka – po každé opravě nebo výměně produktu začíná záruční doba běžet znovu od počátku;
- Neobnovovaná záruka – délka záruční doby je pevně dána a nemění se, případná oprava či výměna produktu její délku neovlivňuje.

c) Podle způsobu určení konce záruční doby:

- Jednorozměrná záruka – okamžik ukončení záruční doby je určen jediným způsobem, nejčastěji kalendářní dobou používání (např. počet měsíců, roků) nebo dobou provozu (např. počet ujetých km, počet pracovních cyklů, míra opotřebení);
- Vícerozměrná záruka – okamžik ukončení záruční doby je určen více způsoby a užije se ten, který nastane jako první, nejpoužívanější je stanovení přesné kalendářní doby a doby provozu.

Mimo uvedené dělení se lze setkat s hromadnými zárukami (záruka platí pro celou skupinu produktů současně a ne pro každý jednotlivě), zárukami zvyšování spolehlivosti (součástí záruky je požadavek na zvyšování úrovně spolehlivosti produktu během dodávek) a víceznakovými zárukami (na jednotlivé části produktu jsou poskytovány záruky zvlášť).

V praxi se lze nejčastěji setkat s následujícími typy záruk, které jsou dále stručně charakterizovány.

Při použití *jednorozměrné neobnovované plné záruky* se dodavatel během záruční doby zavazuje provést bezplatnou opravu nebo výměnu vadného produktu. Délka záruční doby je pevně dána, případná oprava či výměna produktu ji neovlivňuje. Záruční doba bývá nejčastěji vymezena kalendářní dobou používání nebo dobou provozu. Historicky jde o nejstarší typ záruky, který je svou koncepcí velice jednoduchý a srozumitelný. Tento typ záruky se obvykle používá pro celou škálu spotřebních produktů, od nejlevnějších (např. kompaktní disky) až po nejdražší opravované (např. domácí spotřebiče) i neopravované (např. čipy).

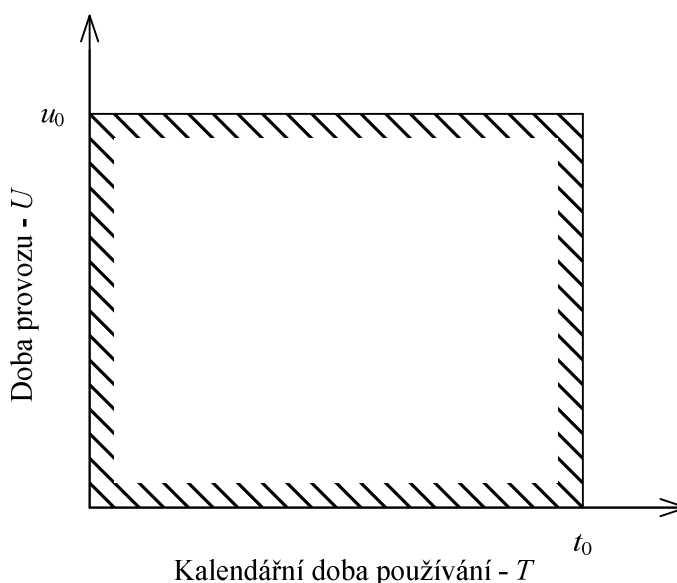
Při použití *jednorozměrné obnovované plné záruky* se dodavatel během záruční doby zavazuje provést bezplatnou opravu nebo výměnu vadného produktu. Všechny opravené nebo vyměněné produkty jsou kryty stejnou zárukou jako nově prodávaný produkt, tj. záruka u nich začíná běžet znovu od počátku. Tento typ záruky má stejné využití jako neobnovovaná varianta, navíc se používá zejména pro levné elektrické, elektronické a mechanické produkty, které dodavatel, vzhledem k jejich charakteru, při reklamaci častěji vyměňuje, než opravuje.

Při použití *jednorozměrné neobnovované redukované záruky* se dodavatel během záruční doby zavazuje provést opravu nebo výměnu vadného produktu, ale zákazník je povinen se na opravě nebo výměně finančně podílet. V praxi je ale častější případ, kdy se dodavatel zavazuje vrátit zákazníkovi poměrnou část ceny, přičemž zákazník není nucen ke koupi opraveného nebo vyměněného produktu. Délka záruční doby je pevně dána, případná oprava či výměna produktu ji neovlivňuje. Výše finančního podílu zákazníka (resp. vrácené poměrné ceny) je nejčastěji závislá na kalendářní době používání nebo době provozu, přičemž se vzrůstající dobou roste výše podílu zákazníka (resp. klesá vrácená poměrná cena). Růst podílu s rostoucí dobou má nejčastěji lineární průběh. Neobnovované redukované záruky se používají zejména u opravovaných produktů.

Jednorozměrná obnovovaná redukovaná záruka je shodná s neobnovovanou variantou s tím rozdílem, že všechny opravené nebo vyměněné produkty jsou kryty stejnou zárukou jako nově prodávaný produkt. Tento typ záruky se využívá zejména u neopravovaných produktů, například u pneumatik a akumulátorových baterií.

Neobnovovaná a obnovovaná kombinovaná jednorozměrná záruka je kombinací plné a redukované záruky. U neobnovované varianty jsou obě neobnovované, u obnovované varianty je alespoň jedna z nich obnovovaná. Záruční doba je v tomto případě rozdělena na dvě části. Během první části platí plná záruka a během druhé části platí redukovaná záruka. Tento typ záruky patří k nejprogresivnějším. Zejména v případě, kdy se celková délka záruční doby blíží životnosti produktu, poskytuje tento typ záruk velice dobré podmínky pro ochranu zájmů jak dodavatele, tak i zákazníka. Oba typy záruk jsou vhodné především pro neopravované produkty.

Z oblasti vícerozměrných záruk patří mezi nejpoužívanější *dvourozměrná neobnovovaná plná záruka*. Při jejím použití se dodavatel během záruční doby zavazuje provést bezplatnou opravu nebo výměnu vadného produktu. Délka záruční doby je pevně dána, případná oprava či výměna produktu ji neovlivňuje. Produkt je kryt zárukou nejčastěji po určitou (garantovanou) kalendářní dobu používání (t_0) a po určitou (garantovanou) dobu provozu (u_0), přičemž záruka končí překročením jedné z těchto hodnot. Oblast krytí zárukou je znázorněna na Obr. 2-2.



Obr. 2-2: Oblast krytí dvourozměrnou zárukou

Tento typ záruky je vhodný pro produkty, u kterých lze průběžně monitorovat dobu provozu, a velmi často se používá u automobilů. V praxi se lze setkat i s dalšími způsoby krytí dvourozměrnou neobnovovanou zárukou (např. oblast krytí je znázorněna trojúhelníkem) a také s redukovanými a kombinovanými dvourozměrnými neobnovovanými zárukami. Nicméně jejich používání v praxi je ojedinělé, stejně jako používání dvourozměrných redukovaných a kombinovaných záruk a více než dvourozměrných záruk.

V podmínkách České republiky zatím většina dodavatelů poskytuje záruky v rozsahu stanoveném platnou legislativou. Z uvedených typů záruk se prakticky používají jen nejjednodušší, především jednorozměrné obnovované a neobnovované plné záruky. Jen zřídka se využívají jednorozměrné redukované a kombinované záruky. Z vícerozměrných záruk se využívá převážně dvourozměrná neobnovovaná plná záruka, a to zejména při prodeji automobilů.

Do budoucna lze předpokládat, že v souvislosti se zvyšující se náročností zákazníků a rostoucí konkurencí na trhu budou dodavatelé poskytovat záruky nad rámec stanovený legislativou. Budou častěji využívány progresivnější typy záruk za jakost, které budou poskytovat na jedné straně větší ochranu zájmu zákazníků a na straně druhé konkurenční výhody pro dodavatele.

2.4 Současný stav v oblasti predikce záručních nákladů

2.4.1 Vymezení souvislostí

Před samotným zhodnocením současného stavu je nezbytné vymezit návaznosti související s problematikou záručních nákladů a jejich predikce.

Jak již bylo uvedeno, záruční náklady jsou obvykle chápány jako náklady vynaložené dodavatelem při vyřizování reklamací v záruční době, přičemž výše nákladů na záruky závisí zejména na podmínkách záruky (na typu a parametrech záruky) a na úrovni spolehlivosti produktu. Obecně lze tedy konstatovat, že záruční náklady závisí na dvou veličinách: počtu reklamací během záruční doby a nákladech spojených s vyřízením jednotlivých reklamací v záruční době. Predikce záručních nákladů je v rámci této práce chápána jako předpověď výše nákladů, které bude muset dodavatel vynaložit na vyřízení všech reklamací v záruční době.

Z hlediska řešené problematiky se produkt během záruční doby může nacházet ve dvou navzájem se vylučujících stavech: bezporuchovém a poruchovém.

Takto charakterizované chování produktu je někdy nazýváno dvoustavovým modelem. Chování produktu v čase lze popsat obecným procesem obnovy, přičemž přechod z bezporuchového stavu do stavu poruchového je charakterizován jako jev porucha a přechod opačným směrem jako jev obnova.

V současnosti používané a dále uvedené přístupy predikce záručních nákladů vychází z následujících předpokladů:

- všechny poruchy v záruční době jsou zákazníkem reklamovány;
- všechny reklamace jsou oprávněné;
- zákazník reklamuje produkt ihned po výskytu poruchy;
- doba reklamačního řízení (doba do obnovy) je považována za nulovou.

Uvedené předpoklady sice zjednodušují reálnou situaci, ale jsou vzhledem ke značnému usnadnění řešení predikce záručních nákladů přijatelné.

Z hlediska uvedeného dvoustavového modelu je nejpodstatnější poslední předpoklad, s jehož využitím obecný proces obnovy přechází v limitní případ, tzv. prostý proces obnovy (doba do obnovy je nulová).

S uvážením uvedených předpokladů je tedy možno konstatovat následující: Záruční náklady závisí na počtu poruch, které se na produktu vyskytnou během záruční doby, a na nákladech spojených s odstraněním jednotlivých poruch v záruční době.

Problematika predikce záručních nákladů také úzce souvisí s problematikou oprav, proto je nezbytné zavést alespoň základní dělení typů oprav z hlediska chování produktu po opravě. V odborné literatuře je nejčastěji uváděno následující dělení [3], [4], [25]:

- Úplná oprava – po opravě má produkt stejné vlastnosti jako nový produkt. Tzn. produkt má stejné rozdělení náhodné proměnné (doby mezi poruchami) a jeho parametry jako nový.
- Minimální oprava – po opravě má produkt stejné vlastnosti jako před poruchou.
- Neúplná oprava – po opravě je intenzita poruch produktu vyšší, než byla před opravou, nebo je intenzita poruch nižší, než byla před opravou, ale vyšší než u nového produktu.

V další části je odděleně hodnocen současný stav predikce záručních nákladů v oblasti jednorozměrných záruk a v oblasti dvou a vícerozměrných záruk za jakost.

2.4.2 Predikce v oblasti jednorozměrných záruk za jakost

V současné době se pro predikci záručních nákladů u jednorozměrných záruk používají matematické modely, které umožňují určit záruční náklady připadající na jeden produkt. S využitím modelů lze provést bodový odhad střední hodnoty záručních nákladů $\bar{C}(t_0)$. Modely se pro jednotlivé typy záruk odlišují, přičemž dále jsou uvedeny modely pro vybrané typy záruk za jakost. Z hlediska typů oprav jsou uvedeny modely platné za předpokladu úplných oprav, modely platné za předpokladu minimálních oprav jsou dostupné pouze pro některé typy záruk a modely platné za předpokladu neúplných oprav doposud nebyly řešeny. Více informací o problematice neúplných oprav lze případně nalézt v odborné literatuře [23].

U každého typu záruky je také uveden příklad určení záručních nákladů pro výpočet nejjednodušší a u moderních vysoce spolehlivých produktů častý případ, kdy se náhodná proměnná (doba mezi poruchami) řídí exponenciálním rozdělením, tj. intenzita poruch $\lambda(t)$ je v čase konstantní. Distribuční funkce exponenciálního rozdělení je dána vztahem [2], [12]:

$$F(t) = 1 - \exp[-\lambda t] \quad (2.1)$$

Jednorozměrná neobnovovaná plná záruka

Matematický model pro predikci středních záručních nákladů lze vyjádřit následovně:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \bar{N}(t_0) \quad (2.2)$$

Přičemž za předpokladu úplné opravy lze vznik poruch charakterizovat prostým procesem obnovy a střední počet poruch lze predikovat s využitím funkce obnovy [3], [4], [25]:

$$\bar{N}(t_0) = M(t_0) = \sum_{n=0}^{\infty} F^{(n)}(t_0) \quad (2.3)$$

Analyticky lze hodnotu funkce obnovy určit pouze pro vybrané typy rozdělení náhodné proměnné. Pro většinu typů rozdělení lze určit hodnotu funkce obnovy například s použitím tabulek uvedených v odborné literatuře, využitím přibližných vztahů, numerickými metodami nebo simulačními metodami [3], [4].

Za předpokladu minimální opravy lze vznik poruch charakterizovat nehomogenním Poissonovým procesem s funkcí intenzity rovnou intenzitě poruch a střední počet poruch lze predikovat s využitím následujícího vztahu [25]:

$$\bar{N}(t_0) = \int_0^{t_0} \lambda(t) dt \quad (2.4)$$

Analytický výpočet integrálu je možný jen pro vybrané typy rozdělení náhodné proměnné. Pro většinu používaných rozdělení náhodné proměnné je nutno výpočet provádět například s využitím numerickým metod.

Pro případ exponenciálního rozdělení náhodné proměnné lze střední záruční náklady při použití jednorozměrné neobnovované plné záruky predikovat následovně:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \lambda t_0 \quad (2.5)$$

Jednorozměrná obnovovaná plná záruka

Matematický model pro predikci středních záručních nákladů lze vyjádřit následujícím vztahem [4], který platí za předpokladu úplné opravy:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \frac{F(t_0)}{1 - F(t_0)} \quad (2.6)$$

Pro případ exponenciálního rozdělení náhodné proměnné lze střední záruční náklady při použití jednorozměrné obnovované plné záruky predikovat následovně:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \left[\frac{1 - e^{-\lambda t_0}}{e^{-\lambda t_0}} \right] \quad (2.7)$$

Jednorozměrná neobnovovaná redukováná záruka

Je uveden příklad pro případ lineární redukce, kdy pro částku vrácenou zákazníkovi platí:

$$C_f = \begin{cases} \frac{t_0 - t}{t_0} C_b & \text{pro } 0 \leq t < t_0 \\ 0 & \text{pro } t \geq t_0 \end{cases} \quad (2.8)$$

Matematický model pro predikci středních záručních nákladů lze poté vyjádřit následovně [4]:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \left[F(t_0) - \frac{\mu_0}{t_0} \right] \quad (2.9)$$

kde:

$$\mu_0 = \int_0^{t_0} t \, dF(t) \quad (2.10)$$

Uvedený model platí za předpokladu úplné opravy.

Pro případ exponenciálního rozdělení náhodné proměnné lze střední záruční náklady při použití jednorozměrné neobnovované redukované záruky za předpokladu lineární redukce predikovat následovně:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \left[1 - \frac{1 - e^{-\lambda t_0}}{\lambda t_0} \right] \quad (2.11)$$

Jednorozměrná obnovovaná redukovaná záruka

Je uveden příklad pro případ lineární redukce stejné jako u neobnovované varianty, kdy pro částku vrácenou zákazníkovi platí vztah (2.8). Matematický model pro predikci středních záručních nákladů lze poté vyjádřit následovně [4]:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \left[\frac{\mu_0 F(t_0)}{t_0 [1 - F(t_0)]} \right] \quad (2.12)$$

kde pro μ_0 platí vztah (2.10).

Uvedený model platí za předpokladu úplné opravy.

Pro případ exponenciálního rozdělení náhodné proměnné lze střední záruční náklady při použití jednorozměrné obnovované redukované záruky za předpokladu lineární redukce predikovat následovně:

$$\bar{C}(t_0) = \bar{C}_c \left[\frac{[1 - (1 + \lambda t_0)e^{-\lambda t_0}](1 - e^{-\lambda t_0})}{\lambda t_0 e^{-\lambda t_0}} \right] \quad (2.13)$$

Na základě uvedených modelů, které umožňují provádět bodové odhady středních záručních nákladů, jsou v odborné literatuře [4] pro vybrané typy záruk a nejjednodušší rozdělení náhodné proměnné odvozeny modely umožňující provádět intervalové odhady střední hodnoty záručních nákladů. Tyto modely jsou založeny na intervalových odhadech parametrů rozdělení charakterizujících vznik poruch.

Z uvedených modelů je patrné, že při predikci záručních nákladů je nezbytné řešit dva relativně samostatné problémy:

- predikce středních nákladů na opravu \bar{C}_C ;
- predikce pravděpodobnosti vzniku jednotlivých poruch, která je popsána distribuční funkcí $F(t)$, případně intenzitou poruch $\lambda(t)$.

Střední náklady na opravu jsou v současnosti predikovány pro produkt jako celek, nejčastěji na základě zkušeností s opravami obdobných produktů a zkušeností s reklamačními řízeními obdobných produktů.

Při predikci pravděpodobnosti vzniku poruch se v současnosti nahlíží na produkt jako na celek. Pro predikci pravděpodobnosti vzniku poruch se obvykle využívají informace získané sledováním srovnatelných produktů v provozu, informace získané z reklamačních řízení nebo informace získané během zkoušek produktu.

Souhrnně lze konstatovat, že uvedené modely nahlíží na produkt jako na celek, pro něž vyžadují určení středních nákladů na opravu a pravděpodobnosti vzniku poruch.

Použití uvedených modelů je relativně jednoduché a může vést k přiměřeně přesným výsledkům, avšak k dispozici musí být věrohodné informace o pravděpodobnostech vzniku poruch produktu i nákladech spojených s odstraňováním poruch během záruky. Zejména u nových produktů v etapě vývoje a návrhu však tyto informace k dispozici zpravidla nejsou. V těchto případech lze uvedené modely odhadů záručních nákladů využívat jen omezeně. Také použitelnost uvedených modelů u složitějších produktů skládajících se z více prvků je značně limitována.

Mimo dosud uvedené modely se lze setkat také se zcela odlišným přístupem, který je založen na analýze časových řad metodou lineárních dynamických modelů [3]. Uvedený přístup umožňuje predikovat počty reklamací a jejich vývoj v čase, a je využitelný při predikci záručních nákladů. Výhodou tohoto přístupu je, že predikce jsou založeny na reálných datech, neplatí pro ně předpoklady uvedené na úvod kapitoly 2.4 a zároveň je tento přístup využitelný pro nejrozličnější typy záruk za jakost. Značnou nevýhodou tohoto přístupu je potřeba mít k dispozici dostatečné množství dat získaných z reklamačních řízení, která v počátečních etapách životního cyklu k dispozici nejsou.

2.4.3 Predikce v oblasti dvou a vícerozměrných záruk za jakost

V oblasti dvou a vícerozměrných záruk existuje velký počet jejich možných variant, avšak prakticky se lze setkat výhradně s dvourozměrnou neobnovovanou plnou zárukou, ostatní varianty vícerozměrných záruk jsou zatím používány ojediněle. V této části je tudíž řešena problematika pouze dvourozměrné neobnovované plné záruky, která je popsána v kapitole 2.3 a jejíž oblast krytí je znázorněna na Obr. 2-2 (dále jen dvourozměrná neobnovovaná plná záruka). Stav v oblasti predikce pro jiné oblasti krytí zárukou, pro dvourozměrné neobnovované redukované a kombinované záruky, je obdobný. Predikce pro dvourozměrné obnovované záruky a pro více než dvourozměrné záruky nejsou v dostupné literatuře řešeny.

V současné době se pro predikci záručních nákladů u dvourozměrné neobnovované plné záruky používají matematické modely, které umožňují určit záruční náklady připadající na jeden produkt. S využitím modelů lze provést bodový odhad střední hodnoty záručních nákladů $\bar{C}(t_0, u_0)$.

Obecný matematický model pro predikci středních záručních nákladů při použití dvourozměrné neobnovované plné záruky lze vyjádřit následovně:

$$\bar{C}(t_0, u_0) = \bar{C}_c \bar{N}(t_0, u_0) \quad (2.14)$$

Ze vztahu je zřejmé, že pro predikci záručních nákladů je nezbytné řešení dvou relativně samostatných problémů:

- predikce středních nákladů na opravu \bar{C}_c ;
- predikce středního počtu poruch v záruční době $\bar{N}(t_0, u_0)$.

Predikce středních nákladů na opravu je shodná s predikcí u jednorozměrných záruk a byla zmíněna v kapitole 2.4.2.

Pro predikci středního počtu poruch v záruční době při použití dvourozměrné neobnovované plné záruky jsou v současnosti používány dva odlišné přístupy:

- jednorozměrný;
- dvourozměrný.

Dále budou stručně charakterizovány oba přístupy a budou naznačeny další možné postupy predikce záručních nákladů při použití dvourozměrné neobnovované plné záruky.

Jednorozměrný přístup k predikci počtu poruch u 2-D neobnovované plné záruky

Hlavním znakem tohoto přístupu je, že doba provozu U je chápána jako funkce kalendářní doby používání T , přičemž je předpokládána lineární závislost těchto veličin, což lze matematicky zapsat následovně:

$$U = rT \quad (2.15)$$

Za předpokladu úplné opravy lze vznik poruch v záruční době popsat procesem obnovy a střední počet poruch lze predikovat s využitím následujícího vztahu [4]:

$$\bar{N}(t_0, u_0) = \int_0^{\gamma_1} M(t_0 | r) dG(r) + \int_{\gamma_1}^{\infty} M(t_r | r) dG(r) \quad (2.16)$$

kde:

$$\gamma_1 = \frac{u_0}{t_0} ; t_r = \frac{u_0}{r} \quad (2.17)$$

Za předpokladu minimální opravy lze vznik poruch v záruční době popsat nehomogenním Poissonovým procesem s funkcí intenzity $\lambda(t | r)$ a střední počet poruch lze predikovat s využitím následujícího vztahu [4]:

$$\bar{N}(t_0, u_0) = \int_0^{\gamma_1} \int_0^{t_0} \lambda(t | r) dt dG(r) + \int_{\gamma_1}^{\infty} \int_0^{t_r} \lambda(t | r) dt dG(r) \quad (2.18)$$

Z uvedených vztahů je zřejmé, že pro predikci středního počtu poruch, respektive střední hodnoty záručních nákladů, musí být známa podmíněná intenzita poruch vztažená ke kalendářní době používání $\lambda(t|r)$, případně podmíněná distribuční funkce $F(t|r)$.

Existuje také zjednodušená varianta uvedeného postupu [3], která vychází ze dvou následujících předpokladů. Intenzita poruch je konstantní (tzn. náhodná proměnná doba mezi poruchami má exponenciální rozdělení) a celkový počet poruch je dán jako součet dvou vzájemně nezávislých náhodných proměnných s Poissonovým rozdělením s intenzitami λ_x (vztažena ke kalendářní době používání) a λ_y (vztažena k době provozu). Avšak tento postup je použitelný, pouze pokud je intenzita poruch konstantní.

Dvourozměrný přístup k predikci počtu poruch u 2-D neobnovované plné záruky

Hlavním znakem tohoto přístupu je, že náhodná proměnná charakterizující vznik poruch je chápána jako dvourozměrná (kalendářní doba používání mezi poruchami a doba provozu mezi poruchami) a lze ji popsat např. sdruženou distribuční funkcí $F(t,u)$. Je tedy zřejmé, že počet poruch v záruce je funkcí dvou proměnných: kalendářní doby používání T a doby provozu U .

Vznik poruch v záruční době lze popsat dvourozměrným procesem obnovy a střední počet poruch v záruce lze predikovat s využitím dvourozměrné funkce obnovy [3]:

$$\bar{N}(t,u) = M(t,u) = \sum_{n=0}^{\infty} F^{(n)}(t,u) \quad (2.19)$$

Uvedený vztah platí za předpokladu úplné opravy. Případ minimální opravy není v dostupné literatuře řešen.

Z uvedeného vztahu je zřejmé, že pro predikci středního počtu poruch, respektive střední hodnoty záručních nákladů, musí být známa sdružená distribuční funkce $F(t,u)$ charakterizující pravděpodobnost poruchy v dvourozměrném prostoru.

Mimo doposud uvedené přístupy k predikci záručních nákladů u dvourozměrné neobnovované plné záruky byly publikovány i jiné odlišné přístupy. Ty umožňují provádět parametrické odhady simultánního rozdělení pravděpodobnosti vzniku poruch, případně parametrické nebo neparametrické odhady marginálního rozdělení pravděpodobnosti vzniku poruchy vzhledem ke kalendářní době používání. V nedávné době byla publikována metoda zaměřená na neparametrické odhady marginálního rozdělení pravděpodobnosti vzniku poruchy vzhledem k době provozu [18] a metoda zaměřená na neparametrické odhady intenzity záručních oprav [33]. Uvedené metody vyžadují dostatečné množství vstupních dat získaných z reklamací. Avšak tato data v počátečních etapách životního cyklu k dispozici nejsou.

Souhrnně lze konstatovat, že aplikace dosud uvedených přístupů predikce počtu poruch vyžaduje přesnou znalost chování náhodné proměnné, která je chápána jako dvourozměrná (kalendářní doba do poruchy a doba provozu). Konkrétně vyžaduje znalost sdruženého, případně podmíněného rozdělení pravděpodobnosti. Určení typu rozdělení a jeho parametrů je však obtížné a značně limituje využitelnost zmiňovaných modelů. Uvedené přístupy chápou produkt jako celek a jsou založeny na analýze množství dat získaných z reklamačních řízení. Avšak zejména u nových produktů v počátečních etapách životního cyklu tato data k dispozici nejsou.

S predikcí záručních nákladů u dvourozměrných záruk za jakost úzce souvisí problematika určení okamžiku ukončení záruční doby, pro který budou záruční náklady predikovány. Každý jednotlivý produkt je v průběhu záruky využíván jiným způsobem (s jinou intenzitou), tudíž je zřejmé, že je třeba se tímto problémem v souvislosti s predikcí záručních nákladů zabývat. Ve vztazích (2.15) až (2.18) je tento problém reprezentován intenzitou provozu r s distribuční funkcí $G(r)$. S jejím využitím lze okamžik ukončení záruční doby odvodit, avšak v literatuře není naznačeno jakým způsobem. V literatuře je uvedeno, jak určit intenzitu provozu pomocí informací získaných z reklamačních řízení, ale nejsou uvedeny jiné možnosti, které by bylo možné využít, pokud informace z reklamačních řízení nejsou k dispozici.

2.5 Shrnutí a závěry zhodnocení současného stavu

V České republice jsou v současné době nejčastěji poskytovány záruky v rozsahu stanoveném platnou legislativou. Dodavatelé používají jen nejjednodušší, především jednorozměrné obnovované a neobnovované plné záruky. Z vícerozměrných záruk se využívá převážně dvourozměrná neobnovovaná plná záruka, která je používána zejména při prodeji automobilů. Nedostatečně jsou využívány progresivní typy záruk za jakost, které mohou poskytovat řadu výhod.

V oblasti predikce záručních nákladů doposud nebyla v ČR vydána žádná publikace komplexně se zabývající danou problematikou. Řešené problematice u nás i přes její význam není věnována dostatečná pozornost. Proto byla východiskem analýzy zejména zahraniční literatura a praxe užívaná v zahraničí.

Stručně lze konstatovat, že současné přístupy predikce záručních nákladů nahlíží na produkt jako na celek, pro nějž je však obtížné získat jeho „charakteristiky“. Většinou také přístupy vyžadují znalost dat získaných z reklamačních řízení, avšak ta mnohdy nejsou k dispozici. Z uvedených důvodů používané přístupy lze jen s obtížemi aplikovat při predikci záručních nákladů pro zcela nové produkty v raných etapách životního cyklu a pro komplexní produkty. Přístupy také neřeší problematiku určení okamžiku ukončení záruční doby při použití dvourozměrné záruky za jakost, pokud nejsou k dispozici data z reklamačních řízení. Neřešena zůstává také problematika sledování skutečného vývoje predikovaných hodnot.

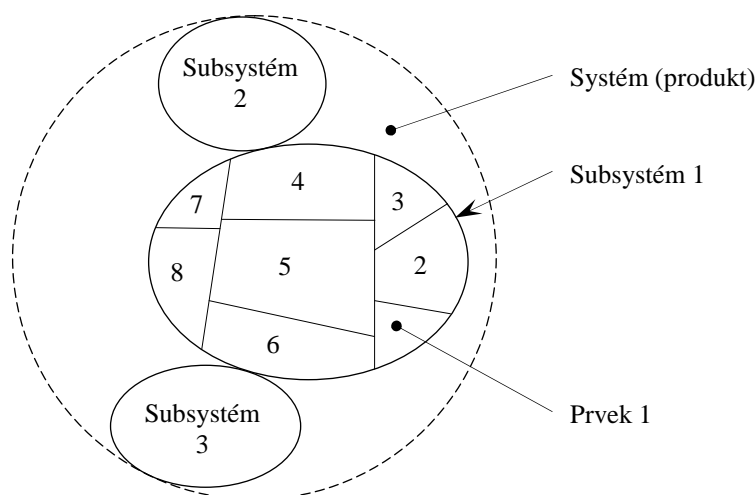
Je tedy zřejmé, že je třeba alespoň částečně vyřešit uvedené problémy tak, aby predikce záručních nákladů při poskytování zejména dvourozměrných záruk za jakost u složitých produktů již v počátečních etapách životního cyklu byla prakticky proveditelná.

3 Predikce záručních nákladů u složitých produktů

3.1 Úvod

U produktů, které jsou složeny z mnoha částí, mají neopakovatelný charakter (produkční linky, produkční komplexy, ...) nebo se často mění jejich varianty, je velice obtížné získat informace na úrovni celku. Avšak pokud na složitý produkt nahlížíme jako na „systém“, který je složen z jednotlivých subsystémů a prvků, je situace řešitelnější. O chování jednotlivých subsystémů a prvků, pokud jsou vhodně zvoleny, lze informace získat relativně snadno.

Základním předpokladem dále popsaného přístupu k predikci záručních nákladů je, že se na produkt nahlíží jako na systém složený z jednotlivých subsystémů a prvků (viz Obr. 3-1 [12]), o kterých lze získat potřebné informace.



Obr. 3-1: Schematické zobrazení systému

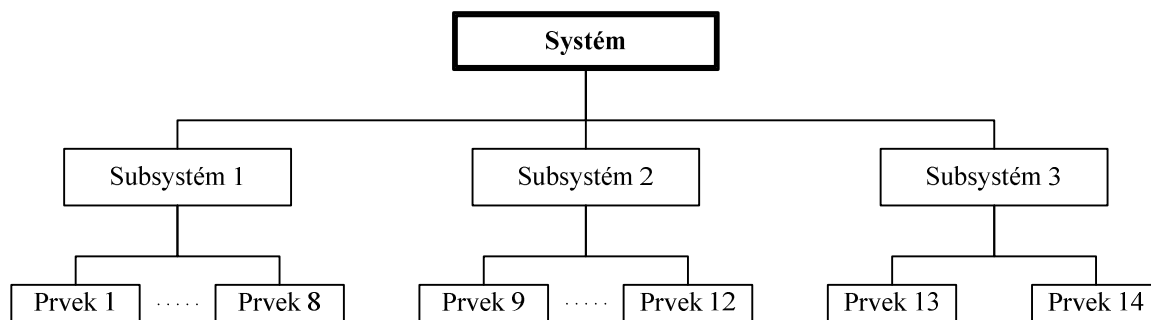
Při predikci záručních nákladů u složitých produktů je nezbytné realizovat následující logicky navazující kroky:

- Dekompozice systému na subsystémy a prvky;
- Identifikace poruch prvků;
- Predikce bezporuchovosti prvků;
- Určení způsobů odstranění poruch prvků a predikce souvisejících nákladů;
- Predikce počtu poruch prvků v záruční době;
- Syntéza získaných informací – predikce záručních nákladů pro celý systém.

Jednotlivé kroky lze realizovat více způsoby. V dalších kapitolách jsou podrobně popsány vybrané způsoby řešení (případně jejich varianty), které autor považuje za vhodné a prakticky realizovatelné. Navržené způsoby řešení dílčích problémů nejsou „jediné správné a vše řešící“, ale jejich použití bylo prakticky ověřeno.

3.2 Dekompozice systému na subsystémy a prvky

V prvním kroku je na produkt nahlíženo jako na systém, který lze metodou dekompozice rozčlenit na jednotlivé subsystémy a prvky. Schematicky je postup dekompozice znázorněn na Obr. 3-2. Při dekompozici systému je důležité stanovit úroveň rozčlenění systému (tj. zda prvkem bude např. hnací ústrojí vozidla, převodovka nebo konkrétní ozubené kolo v převodovce).



Obr. 3-2: Schematické zobrazení dekompozice systému

Dekompozici systému a hlavně volbu její úrovně je vhodné provést s ohledem na:

- typ a složitost produktu;
- konstrukční a funkční uspořádání produktu;
- podmínky poskytované záruky (na jednotlivé subsystémy nebo prvky mohou být poskytovány záruky s různými podmínkami);
- charakter vzniku poruch prvků (viz kapitola 3.3);
- způsoby odstranění poruch prvků (viz kapitola 3.5).

Systém je vhodné rozčlenit až do úrovně, na které jsou k dispozici dostatečné informace o jednotlivých prvcích.

S prvky získanými dekompozicí se z hlediska řešeného problému pracuje mnohem snadněji, než se systémem jako celkem.

3.3 Identifikace poruch prvků

Dekompozicí popsanou v předchozí kapitole lze systém rozčlenit na jednotlivé prvky. V dalším kroku je nezbytné pro každý prvek identifikovat jeho potenciální poruchy. Identifikace potenciálních poruch prvků je dílčí součástí analýzy FMEA/FMECA [35], [41], [43], [44], přičemž v rámci uvedené analýzy se hovoří o zjišťování *způsobů poruch*. V odborné literatuře [12] je způsob poruchy definován jako jev, jehož prostřednictvím je porucha na prvku pozorována. Cílem tedy je identifikovat všechny způsoby, kterými se selhání prvku projeví. Vhodnou pomůckou při identifikaci způsobů poruch může být mezinárodně uznávaná databáze *FMD-97 – Failure Mode/Mechanism Distributions* [47] (Rozložení způsobů poruch), která obsahuje údaje o pravděpodobnosti výskytu jednotlivých způsobů poruch u konkrétních elektronických, elektrických a mechanických prvků.

Pro usnadnění dalšího řešení problematiky predikce záručních nákladů pro dvourozměrné záruky byl přijat následující zásadní a zjednodušující předpoklad o vzniku poruch. U prvků mohou v průběhu záruční doby vznikat v zásadě dva typy poruch:

- Poruchy, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání (době uplynulé od prodeje) a jejichž vznik v podstatě není ovlivňován dobou provozu.
- Poruchy, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu (např. počtu najetých km od prodeje) a jejichž vznik v podstatě není ovlivňován kalendářní dobou používání.

K uvedenému předpokladu je potřebné přihlížet již při dekompozici systému na prvky.

Pro jeden prvek je možné identifikovat i více způsobů poruch než jeden. V rámci tohoto kroku jsou pro každý prvek získány dekompozicí identifikovány potenciální způsoby poruch (minimálně jeden) a ty jsou zařazeny do jedné ze dvou uvedených skupin. Jednotlivé veličiny vztahující se k identifikovaným poruchám (způsobům poruch), jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání, budou označovány dolním indexem i , přičemž platí: $i \in \langle 1; m \rangle$, kde m je počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání. Jednotlivé veličiny vztahující se k identifikovaným poruchám (způsobům poruch), jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu, budou označovány dolním indexem j , přičemž platí: $j \in \langle 1; k \rangle$, kde k je počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu.

3.4 Predikce bezporuchovosti prvků

Pro každý prvek získaný dekompozicí systému a jeho možné identifikované způsoby poruch je nezbytné předpovědět (predikovat), jejich bezporuchovost. Přičemž je třeba respektovat rozdělení poruch do dvou skupin uvedených v předchozí kapitole. Predikcí bezporuchovosti prvku je chápána předpověď vybraného ukazatele bezporuchovosti, který je obecně charakterizován číselnou hodnotou nebo funkcí použitou pro popis rozdělení pravděpodobnosti náhodné proměnné (v našem případě kalendářní doby používání mezi poruchami nebo dobou provozu mezi poruchami), která charakterizuje bezporuchovost prvku.

Z hlediska řešené problematiky je pro popis rozdělení náhodné proměnné, která charakterizuje vznik poruch, vhodné použít distribuční funkci (případně funkce hustoty pravděpodobnosti) nebo funkci intenzity.

Distribuční funkci náhodné proměnné lze charakterizovat následovně [2], [23]:

$$F(x) = P(X \leq x) \quad (3.1)$$

Funkci hustoty pravděpodobnosti náhodné proměnné lze vyjádřit vztahem [2], [23]:

$$f(x) = \frac{dF(x)}{dx} \quad (3.2)$$

Funkci intenzity náhodné proměnné lze vyjádřit vztahem [2], [23]:

$$h(x) = \frac{f(x)}{1 - F(x)} \quad (3.3)$$

Každý identifikovaný způsob poruchy je nezbytné charakterizovat typem rozdělení náhodné proměnné a jejími parametry. V oblasti spolehlivosti se lze nejčastěji setkat s následujícími typy rozdělení náhodné proměnné (doby mezi poruchami):

- Weibullovo rozdělení – používá se pro prvky, u nichž se výrazně projevuje degradace, případně pro prvky, u nichž se během počátečních fází provozu projevují výrobní vady. Jeho distribuční funkce je dána vztahem [2], [12]:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x}{\alpha}\right)^\beta\right] \quad (3.4)$$

- Exponenciální rozdělení – používá se pro prvky, u nichž se neprojevuje postupná degradace, předpokládá se u vysoce spolehlivých prvků. Jeho distribuční funkce je dána vztahem [2], [12]:

$$F(x) = 1 - \exp[-\lambda x] \quad (3.5)$$

V kontextu záruční doby lze exponenciální rozdělení používat také vzhledem k následujícím skutečnostem:

- první fáze vanové křivky, tzv. fáze „kojenecké úmrtnosti“ („infant mortality“), je zpravidla výrazně kratší než obvyklá délka záruční doby a obvykle ovlivňuje celkovou bezporuchovost prvku v záruční době jen zanedbatelným způsobem;
- během záruční doby se prakticky nesetkáváme s poruchami způsobenými stárnutím, které jsou typické pro konečnou fázi životního cyklu prvku.

Pro přesné určení typu rozdělení náhodné proměnné a jeho parametrů lze využít nejrůznější postupy založené na zkušenostech z provozu obdobných prvků, zkouškách prvků, expertních odhadech apod. Avšak v počátečních etapách životního cyklu může být použití zmíněných postupů komplikované, ne-li nemožné. Proto je vhodné využít sofistikované nástroje jakými jsou databáze bezporuchovosti a metodiky predikce bezporuchovosti. Ty umožňují pro jednotlivé prvky stanovit hodnotu vybraného ukazatele bezporuchovosti (nejčastěji intenzitu poruch $\lambda(x)$ nebo střední dobu provozu mezi poruchami *MTBF*), který je vztažen buď ke kalendářní době používání, nebo k době provozu.

V dalších dvou kapitolách jsou stručně představeny mezinárodně uznávané databáze bezporuchovosti prvků a metodiky predikce bezporuchovosti prvků, které patří mezi nejpoužívanější v oblasti strojírenství a elektrotechniky. Ostatní databáze a metodiky, jež nejsou dále zmíněny, jsou specifické pro příslušné oblasti použití, popř. specifické pro jednotlivé společnosti.

3.4.1 Databáze bezporuchovosti prvků

Databáze bezporuchovosti poskytují pro konkrétní typy prvků (např. šroub s šestihrannou hlavou) číselné hodnoty ukazatelů bezporuchovosti.

NPRD-95

Databáze *NPRD-95* – *Nonelectronic Parts Reliability Data* [50] (Data o bezporuchovosti neelektronických prvků) byla vytvořena americkou společností System Reliability Center

(SRC), která do června 2005 působila pod jménem Reliability Analysis Center (RAC) jako účelové zařízení Ministerstva obrany USA.

Databáze NPRD-95 obsahuje údaje o intenzitách poruch široké škály elektrických, elektromechanických a mechanických prvků. Údaje byly získány dlouhodobým sledováním systémů a prvků v provozu, které probíhalo již od počátku 70. let 20. století až do roku 1994. Sběr dat byl přitom zaměřen na získání údajů o relativně nových prvcích, s nimiž nebyly dostatečné zkušenosti, a to z nejrůznějších zdrojů, provozních podmínek a úrovní kvality.

Mezi hlavní cíle databáze patří poskytnutí údajů o intenzitách poruch prvků vyrobených v komerční kvalitě, poskytnutí údajů o intenzitách poruch nejmodernějších součástí a doplnění obdobných metodik o údaje o prvcích, které v nich nejsou obsaženy.

Databázi NPRD-95 lze zakoupit v papírové a elektronické formě, ale především ji lze zakoupit jako součást softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

EPRD-97

Databáze *EPRD-97 – Electronic Parts Reliability Data* [46] (Data o bezporuchovosti elektronických prvků) byla také vytvořena americkou společností System Reliability Center (SRC).

Databáze *EPRD-97* obsahuje údaje o intenzitách poruch elektronických prvků. Konkrétně se jedná o následující prvky: kondenzátory, diody, integrované obvody, optoelektronické prvky, rezistory, tyristory, transformátory a tranzistory. Údaje byly získány dlouhodobým sledováním systémů a prvků v provozu, které probíhalo již od počátku 70. let 20. století až do roku 1996. Sběr dat byl zaměřen na získání údajů o relativně nových prvcích, s nimiž nebyly dostatečné zkušenosti, a to z nejrůznějších zdrojů, provozních podmínek a úrovní kvality.

Mezi hlavní cíle databáze patří poskytnutí údajů o intenzitách poruch prvků vyrobených v komerční kvalitě, poskytnutí údajů o intenzitách poruch nejmodernějších součástí a zejména doplnění MIL-HDBK-217F o údaje o prvcích, které v ní nejsou obsaženy.

Databázi *EPRD-97* lze zakoupit v papírové a elektronické formě, ale především ji lze zakoupit jako součást softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

SPIDR™

Databáze *SPIDR™ – System and Part Integrated Data Resource* (Integrovaný zdroj dat o systémech a prvcích) je nejnovějším produktem v oblasti databází bezporuchovosti. Databáze byla vydána na počátku roku 2006 společností System Reliability Center (SRC).

Databáze *SPIDR™* je komplexní produkt nahrazující nejen databáze NPRD-95 a *EPRD-97*, přičemž obsahuje více než dvojnásobek aktualizovaných dat oproti původnímu balíku databází. Konkrétně databáze obsahuje data o více než 6000 typech elektronických, elektrických, elektromechanických a mechanických prvků. Databáze je založena na téměř 40 letech zkušeností a sběru dat realizovaném společností RAC, respektive SRC.

Databázi *SPIDR™* lze zakoupit jako samostatný softwarový produkt společnosti System Reliability Center (SRC).

3.4.2 Metodiky predikce bezporuchovosti prvků

Metodiky predikce bezporuchovosti obsahují pro jednotlivé skupiny prvků (např. rezistory) výpočtové postupy, které umožňují volbou nejhrůznějších koeficientů zohlednit konkrétní reálnou situaci a vypočítat hodnotu ukazatele bezporuchovosti.

MIL-HDBK-217F

Norma *MIL-HDBK-217F – Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment* [40] (Vojenská příručka: Predikce bezporuchovosti elektronických zařízení) je obranným standardem vydaným Ministerstvem obrany USA. Byla vytvořena v roce 1961 a od té doby byla již několikrát revidována, naposledy v roce 1995, kdy byl její vývoj ze strany Ministerstva obrany ukončen.

Norma byla primárně vyvinuta pro potřeby predikce bezporuchovosti armádních elektronických systémů, ale postupem času se její použití rozšířilo do řady oblastí mimo armádu a v současnosti je nejpoužívanější metodikou predikce bezporuchovosti elektronických prvků.

V normě uvedené hodnoty veličin, které jsou užívány pro výpočet intenzity poruch, byly získány z odhadů založených na analýzách skutečných poruch v provozu. Norma obsahuje výpočtové postupy pro generické typy elektronických prvků a není reálně možné, aby obsahovala údaje pro všechny typy jednotlivých prvků. Generické typy prvků obsažené v normě jsou následující: mikroobvody, polovodiče, elektronky, lasery, rezistory, kondenzátory, cívky, rotační prvky, relé, spínače, konektory, spojovací a propojovací prvky, křemíkové krystaly, žárovky, elektronické filtry a pojistky.

Norma obsahuje dvě odlišné metody predikce bezporuchovosti: metodu predikce počítáním z prvků a metodu predikce namáháním prvků.

Predikce bezporuchovosti prvků dle MIL-HDBK-217F metodou namáháním prvků je použitelná v případě, když je návrh a vývoj produktu z větší části dokončen a když je k dispozici podrobná specifikace jednotlivých prvků a jejich namáhání.

Základní postup určení intenzity poruch je založen na násobení výchozí (základní) intenzity poruch prvku s koeficienty namáhání podmínkami provozu a prostředí. Matematický model pro určení intenzity poruch prvku při použití metody namáhání je uveden na příkladu polovodičových prvků:

$$\lambda_p = \lambda_b \pi_T \pi_A \pi_R \pi_S \pi_C \pi_Q \pi_E \quad (3.6)$$

kde: λ_p = výsledná intenzita poruch prvku; λ_b = základní intenzita poruch; π_T = koeficient závislosti na teplotě; π_A = koeficient závislosti na použití; π_R = koeficient závislosti na jmenovitém výkonu; π_S = koeficient závislosti na elektrickém zatížení; π_C = koeficient závislosti na konstrukci; π_Q = koeficient závislosti na kvalitě; π_E = koeficient závislosti na prostředí.

Koeficienty závislosti na kvalitě (π_Q) a prostředí (π_E) jsou použity v modelech pro většinu generických typů prvků. Použití i význam ostatních koeficientů se pro jednotlivé typy prvků liší. Konkrétní hodnoty výchozí intenzity poruch a všech potřebných koeficientů se určují dle tabulek uvedených v normě.

Predikce bezporuchovosti prvků dle MIL-HDBK-217F metodou počítání z prvků je použitelná v počátečních etapách návrhu a vývoje produktu, kdy není k dispozici dostatek informací potřebných pro použití metody namáhání prvků.

Tato metoda je relativně jednoduchou metodou predikce bezporuchovosti, která využívá předdefinovaných hodnot namáhání. Pro její použití je nezbytné znát alespoň generický typ prvku, úroveň kvality prvku a provozní podmínky. Matematický model pro určení intenzity poruch celého zařízení při použití metody počítání z prvků je následující:

$$\lambda_{EQUIP} = \sum_{i=1}^{i=n} N_i (\lambda_g \pi_Q)_i \quad (3.7)$$

kde: λ_{EQUIP} = celková intenzita poruch zařízení; λ_g = generická intenzita poruch pro i -tý generický prvek; π_Q = koeficient závislosti na kvalitě pro i -tý generický prvek; N_i = počet i -tých generických prvků; n = počet rozdílných kategorií generických prvků v zařízení.

Uvedený vztah lze využít, pokud je při určování generických intenzit všech prvků uvažováno stejné provozní prostředí. V případě, že jsou pro různé generické prvky uvažována různá prostředí, měl by být uvedený vztah použit na jednotlivé části zařízení zvlášť.

Číselné hodnoty generické intenzity poruch (λ_g) pro jednotlivá prostředí a koeficientu závislosti na kvalitě (π_Q) pro jednotlivé generické prvky jsou obsaženy v normě.

Obecně metoda predikce počítáním z prvků poskytuje více konzervativní odhady intenzit poruch prvků než metoda predikce namáháním prvků.

Postupy predikce založené na normě MIL-HDBK-217F jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

PRISM[®]

PRISM[®] – Reliability Prediction and Database for Electronic and Non-electronic Parts (Predikce a databáze bezporuchovosti pro elektronické a neelektronické prvky) je metodikou predikce bezporuchovosti prvků, vyvinutou americkou společností System Reliability Center (SRC), která do června 2005 působila pod jménem Reliability Analysis Center (RAC) jako účelové zařízení Ministerstva obrany USA. Metodika byla vydána na počátku roku 1999 s cílem nahradit zastarávající metodiky popsané v MIL-HDBK-217F.

Metodika odhadu bezporuchovosti *PRISM[®]* se skládá ze dvou částí. Nejprve jsou na úrovni prvků určeny intenzity poruch, které jsou poté na úrovni systémů modifikovány procesními koeficienty, které vystihují příčiny vzniku poruch.

Matematický model intenzity poruch systému při použití metodiky *PRISM[®]* je následující:

$$\lambda_P = \lambda_{IA} \left(\frac{\Pi_P \Pi_{IM} \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{IM} \Pi_E \Pi_G +}{+ \Pi_S \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W} \right) + \lambda_{SW} \quad (3.8)$$

kde: λ_P = predikovaná intenzita poruch systému; λ_{IA} = odhad počáteční intenzity poruch; Π_P = multiplikátor procesů prvků; Π_{IM} = koeficient počáteční fáze provozu; Π_E = koeficient provozního prostředí; Π_D = multiplikátor procesu vývoje; Π_G = koeficient růstu bezporuchovosti; Π_M = multiplikátor procesu výroby; Π_S = multiplikátor procesu systému managementu; Π_I = multiplikátor vyvolaného procesu; Π_N = multiplikátor procesu bez vad; Π_W = multiplikátor procesu opotřebení; λ_{SW} = predikce intenzity poruch softwaru.

Uvedený model vyžaduje jako vstupní hodnotu odhad počáteční intenzity poruch (λ_{IA}). Ten lze provést pomocí modelu nazvaného *RACRates* (je součástí metodiky), databází bezporuchovosti prvků nebo lze využít vlastní data.

Dále je uveden princip určení počátečního odhadu intenzity poruch (λ_{IA}) pomocí *RACRates* modelu. Model uvažuje pro každý generický typ mechanismu poruchy samostatnou intenzitu poruch, která je poté akcelerována příslušným zatížením nebo vlastností prvku. Matematické vyjádření obecného modelu je následující:

$$\lambda_{IA} = \lambda_o \pi_o + \lambda_e \pi_e + \lambda_c \pi_c + \lambda_i + \lambda_{sj} \pi_{sj} \quad (3.9)$$

kde: λ_{IA} = odhad počáteční intenzity poruch; λ_o = intenzita poruch určená z provozního namáhání; π_o = multiplikátor pro provozní namáhání; λ_e = intenzita poruch určená z namáhání provozním prostředím; π_e = multiplikátor pro namáhání provozním prostředím; λ_c = intenzita poruch určená z namáhání výkonovými nebo teplotními cykly; π_c = multiplikátor pro cyklické namáhání; λ_i = intenzita poruch určená z vyvolaných namáhání, včetně elektrických přepětí; λ_{sj} = intenzita poruch určená z namáhání pájenými spoji; π_{sj} = multiplikátor pro namáhání pájenými spoji.

Modely pro jednotlivé typy prvků se liší, ale vychází z uvedeného obecného modelu. Číselné hodnoty intenzit poruch, koeficientů a multiplikátorů se určují na základě vstupních informací o prostředí, provozu, vývoji, výrobě, namáhání atd.

Metodiku PRISM[®] lze zakoupit jako stejnojmenný softwarový produkt společnosti System Reliability Center (SRC) a lze ji také zakoupit jako součást softwarových produktů některých společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

217Plus™

217Plus™ – Reliability Prediction Models [49] (Modely pro predikci bezporuchovosti) je metodikou predikce bezporuchovosti prvků, vyvinutou americkou společností Reliability Information Analysis Center (RIAC), která vznikla v červnu 2005 transformací Reliability Analysis Center (RAC). Od svého založení je RIAC účelovým zařízením Ministerstva obrany USA. 217Plus™ je nejnovějším produktem v oblasti metodik predikce bezporuchovosti. Metodika byla vydána v červenci 2006 s cílem plně nahradit zastaralou MIL-HDBK-217F a starší konkurenční produkt PRISM[®]. Vzhledem k tomu, že na vývoji metodiky 217Plus™ pracovali stejní tvůrci, kteří vyvinuli metodiku PRISM[®], jsou si tyto dvě metodiky podobné.

Metodika umožňuje predikci bezporuchovosti dvanácti skupin elektronických prvků, konkrétně: kondenzátorů, konektorů, diod, cívek, integrovaných obvodů, optoelektronických součástek, relé, rezistorů, spínačů, tyristorů, tranzistorů a transformátorů. Přičemž modely u šesti skupin jsou modernější než u metodiky PRISM[®].

Predikce bezporuchovosti dle metodiky 217Plus™ se provádí ve dvou stupních. Nejprve je na úrovni komponent vypočtena bezporuchovost jednotlivých prvků, která je poté na úrovni systému modifikována systémovými koeficienty.

Obecný matematický model intenzity poruch na úrovni komponent je následující:

$$\lambda_p = \lambda_o \pi_o + \lambda_e \pi_e + \lambda_c \pi_c + \lambda_i + \lambda_{sj} \pi_{sj} \quad (3.10)$$

kde: λ_p = predikovaná intenzita poruch; λ_o = intenzita poruch z provozního namáhání; π_o = multiplikátor intenzity poruch z provozní namáhání; λ_e = intenzita poruch z namáhání prostředím; π_e = multiplikátor intenzity poruch z namáhání prostředím; λ_c = intenzita poruch z namáhání výkonovými nebo teplotními cykly; π_c = multiplikátor intenzity poruch pro cyklické namáhání; λ_i = intenzita poruch z vyvolaných namáhání, včetně elektrických přepětí; λ_{sj} = intenzita poruch z namáhání pájenými spoji; π_{sj} = multiplikátor intenzity poruch pro namáhání pájenými spoji.

Modely pro jednotlivé skupiny prvků se liší, ale vychází z uvedeného obecného modelu. Číselné hodnoty intenzit poruch a koeficientů se určují na základě vstupních informací o prostředí, provozu, vývoji, výrobě, namáhání atd. Intenzitu poruch na úrovni komponent lze určit i s využitím jiných databází a metodik, případně lze využít vlastní data.

Obecný matematický model intenzity poruch na systémové úrovni je následující:

$$\lambda_p = \lambda_{IA} \left(\frac{\Pi_P \Pi_{IM} \Pi_E + \Pi_D \Pi_G + \Pi_M \Pi_{IM} \Pi_E \Pi_G +}{+ \Pi_S \Pi_G + \Pi_I + \Pi_N + \Pi_W} \right) + \lambda_{SW} \quad (3.11)$$

kde: λ_p = predikovaná intenzita poruch systému; λ_{IA} = odhad počáteční intenzity poruch systému; Π_P = koeficient úrovně procesů prvků; Π_{IM} = koeficient počáteční fáze provozu; Π_E = koeficient prostředí; Π_D = koeficient úrovně procesu vývoje; Π_G = koeficient růstu bezporuchovosti; Π_M = koeficient úrovně procesu výroby; Π_S = koeficient úrovně procesu systému managementu; Π_I = koeficient úrovně vyvolaného procesu; Π_N = koeficient úrovně procesu bez vad; Π_W = koeficient úrovně procesu opotřebení; λ_{SW} = intenzita poruch softwaru.

Číselné hodnoty koeficientů na úrovni systému se určují prostřednictvím bodovaných otázek.

Metodiku 217Plus™ lze zakoupit v papírové a elektronické formě, především ji však lze zakoupit jako stejnojmenný softwarový produkt společnosti Reliability Information Analysis Center (RIAC). Postupy predikce založené na metodice 217Plus™ jsou součástí softwarových produktů některých společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

FIDES

Metodika FIDES popsána v příručce *FIDES Guide 2009 – Reliability Methodology for Electronic Systems* [48] (FIDES příručka 2009 – Metodika bezporuchovosti pro elektronické systémy) byla vydána v roce 2009 pod záštitou Ministerstva obrany Francie. Jedná se o druhé vydání, přičemž poprvé byla příručka vydána v roce 2004 jako standard DGA-DM/STTC/CO/477-A [38]. Příručku vypracovalo konsorcium FIDES, složené z francouzských průmyslových podniků působících v oblastech letectví a obranného průmyslu. Mezi členy konsorcia patří např. Airbus, Eurocopter a Thales.

Metodika byla vyvinuta s využitím praktických dat z oblasti letectví a vojenství a dat od výrobců. Má za cíl umožnit realistickou predikci bezporuchovosti elektronických zařízení, včetně systémů pracujících v náročných podmínkách (obrné systémy, letectví, atd.).

Metodika poskytuje modely pro elektrické, elektronické a elektromechanické prvky a pro součásti plošných spojů. Bere v úvahu všechny technologické a fyzikální faktory, které mají vliv na bezporuchovost produktu. Konkrétně bere v úvahu typ mise, elektrická, mechanická a teplotní přetížení a poruchy související s procesy vývoje, výroby, provozu a údržby. Je použitelná ve všech oblastech využívajících elektroniku.

Základní matematický model pro výpočet intenzity poruch prvku je následující:

$$\lambda = \lambda_{Physical} \Pi_{PM} \Pi_{Process} \quad (3.12)$$

kde: $\lambda_{Physical}$ = fyzikální příspěvek k intenzitě poruch; Π_{PM} = koeficient zahrnující kvalitu a technické zvládnutí výroby prvku; $\Pi_{Process}$ = koeficient zahrnující kvalitu a technické zvládnutí procesů vývoje, výroby a provozu produktu, ve kterém je prvek obsažen.

Fyzikální příspěvek ($\lambda_{Physical}$) lze matematicky vyjádřit následovně:

$$\lambda_{Physical} = \left[\sum_{Physical_Contributions} (\lambda_0 \Pi_{Acceleration}) \right] \Pi_{Induced} \quad (3.13)$$

kde výraz v hranaté závorce vyjadřuje příspěvek jmenovitých omezení a $\Pi_{Induced}$ je příspěvek vyvolaných přetížení příslušejících dané oblasti použití.

Příspěvek jmenovitých omezení zahrnuje výchozí intenzitu poruch (λ_0) přiřazenou všem prvkům, příspěvek charakteristický pro použitou technologii a koeficient zrychlení ($\Pi_{Acceleration}$) používaný pro přiřazení fyzických omezení, kterým je prvek vystaven během používání. Příspěvek charakteristický pro použitou technologii je zahrnut ve výchozí intenzitě a koeficientu zrychlení.

Koeficient Π_{PM} charakterizující kvalitu prvku lze matematicky vyjádřit následovně:

$$\Pi_{PM} = \exp[\delta_1(1 - Part_Grade) - \alpha_1] \quad (3.14)$$

kde δ_1 a α_1 jsou koeficienty korelace vyjadřující míru vlivu koeficientu Π_{PM} na bezporuchovost prvku. Přičemž koeficient Π_{PM} závisí na úrovni zabezpečování kvality u dodavatele, úrovni zabezpečování kvality prvku, úrovni zabezpečování bezporuchovosti prvku a na zkušenostech s dodavatelem prvku.

Faktor $\Pi_{Process}$, charakterizující kvalitu a technické zvládnutí procesů ovlivňujících bezporuchovost produktu během životního cyklu, lze matematicky vyjádřit následovně:

$$\Pi_{Process} = \exp[\delta_2(1 - Process_Grade)] \quad (3.15)$$

kde: $Process_Grade$ = stupeň vyjadřující úroveň řízení procesů; δ_2 = koeficient korelace vyjadřující rozsah $\Pi_{Process}$ faktoru.

Určení konkrétních hodnot všech faktorů a potřebných vstupních hodnot se provádí na základě tabulek, vztahů a doporučení uvedených v příručce.

Příručku obsahující metodiku FIDES lze v elektronické podobě vyhledat a zdarma stáhnout na internetu a postupy predikce založené na metodice FIDES jsou součástí softwarových produktů některých společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

RDF 2000 (IEC/TR 62380)

Mezinárodní norma IEC/TR 62380 – *Reliability Data Handbook – A universal model for reliability prediction of electronics components, PCBs and equipment* [39] (Příručka dat o bezporuchovosti – Obecný model pro predikci bezporuchovosti elektronických prvků, desek plošných spojů a příslušenství) byla vydána mezinárodní elektrotechnickou komisí (IEC)

v srpnu 2004. Norma vychází z francouzské telekomunikační normy UTE C 80-810 [45] vydané v roce 2000. Metodika uvedená v obou normách je známa pod označením RDF 2000.

Metodika obsahuje výpočtové modely pro celou řadu elektronických prvků, zejména pro desky plošných spojů a jejich součásti. Metodika zohledňuje celou řadu ovlivňujících faktorů a zejména umožňuje zohlednit profil zatížení prvku.

Normu IEC/TR 62380 lze zakoupit, jako většinu norem IEC, v papírové nebo elektronické podobě. Postupy predikce založené na metodice RDF 2000 jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

Telcordia SR-332

Norma *Telcordia SR-332 – Reliability Prediction Procedures for Electronic Equipment* (Postupy predikce bezporuchovosti pro elektronická zařízení) byla vytvořena společností Telcordia Technologies, která vznikla ze společnosti AT&T Bell Laboratories. Proto je norma občas nazývána Bellcore SR-332. V současnosti je aktuální druhé vydání normy Telcordia SR-332 ze září 2006.

Metodika uvedená v normě vychází z principů uvedených v MIL-HDBK-217F, lépe však odráží specifika telekomunikačního průmyslu a umožňuje zohlednit tzv. zahořování. Predikci lze provádět třemi různými metodami, které jsou založeny na počítání z dílů, datech získaných laboratorními zkouškami a datech získaných sledováním prvků v provozu. Metodika je určena především pro komerční elektronické produkty a je velmi rozšířená v oblasti telekomunikací.

Normu Telcordia SR-332 lze zakoupit v elektronické podobě. Postupy predikce založené na normě Telcordia SR-332 jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

GJB/z 299B

Norma *GJB/z 299B – Reliability Calculation Model for Electronic Equipment* (Model pro výpočet bezporuchovosti elektronických zařízení) byla vytvořena čínskou armádou a v květnu 2001 byla přeložena do angličtiny. Norma je někdy nazývána zjednodušeně China 229B.

Norma je založena na principech uvedených v MIL-HDBK-217 a obsahuje výpočtové postupy pro predikci bezporuchovosti elektronických prvků metodami počítáním z prvků a namáháním prvků.

Postupy predikce založené na normě GJB/z 299B jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

NSWC-09

Norma *NSWC-09 – Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment* [42] (Příručka postupů predikce bezporuchovosti mechanických zařízení) byla vytvořena Centrem námořních a pozemních sil při Námořnictvu Spojených států amerických. Poslední verze byla vydána v lednu 2009.

Norma NSWC-09 obsahuje výpočtové modely pro různé typy mechanických prvků používaných zejména v lodním průmyslu (např. ložiska, pružiny, hřídele atd.). Modely umožňují zohlednit teplotní namáhání, silové namáhání a mnoho dalších vlivů. Jedná se o jedinou široce rozšířenou metodiku vyvinutou pro mechanické prvky.

Postupy predikce založené na normě NSWC-09 nebo jejích předchozích revizích jsou součástí softwarových produktů většiny společností specializujících se na vývoj softwaru pro oblast spolehlivosti.

3.4.3 Dílčí shrnutí predikce bezporuchovosti prvků

K uvedené možnosti využití databází bezporuchovosti a metodik predikce bezporuchovosti je nezbytné doplnit, že k predikci bezporuchovosti neelektronických prvků se v současné době nejčastěji používá databáze NPRD-95, která zřejmě bude postupně vytlačena modernější a rozsáhlejší databází SPIDR™. V oblasti predikce bezporuchovosti elektronických prvků je situace poněkud složitější. Databáze EPRD-97 je velmi rozšířena a obsahuje značné množství reálných prvků, které nejsou obsaženy v ostatních metodikách, ale neumožňuje takovou míru zohlednění ovlivňujících faktorů. Predikce bezporuchovosti podle MIL-HDBK-217F je v současné době nejrozšířenější metodikou predikce bezporuchovosti elektronických prvků, ale tato norma není od roku 1995 aktualizována a stala se značně zastaralou. Proto metodiky PRISM[©], FIDES a nejnověji 217Plus™ poskytují odlišné přístupy, které mají za cíl odstranit nedostatky normy MIL-HDBK-217F. Avšak limitujícími faktory při jejich používání jsou u metodik FIDES a 217Plus™ nedostatečná praktická prověřenost a u metodiky PRISM[©] vysoké pořizovací náklady.

Dle vlastních praktických zkušeností autora z oblasti predikce bezporuchovosti lze drtivou většinu predikcí bezporuchovosti prvků a systémů v oblasti strojírenství a elektrotechniky provést s využitím databází NPRD-95 a EPRD-97 a normy MIL-HDBK-217F. Do budoucna se dá považovat za vhodné využití kombinace databáze SPIDR™ a metodiky 217Plus™.

Pro jednotlivé prvky získané dekompozicí systému a jejich možné identifikované poruchy je na základě uvedených postupů a metod nezbytné predikovat jejich bezporuchovost, tj. předpovědět vybraný ukazatel bezporuchovosti. Rozhodnutí, zda při predikci využít zkušenosti s obdobnými prvky, zkoušky prvků, expertní odhady, uvedené databáze a metodiky predikce bezporuchovosti nebo jiné postupy, je ovlivněno účelem (v tomto případě predikce záručních nákladů), pro který je predikce prováděna, a případně požadavkem zákazníka, pro kterého je predikce bezporuchovosti (respektive záručních nákladů) určena.

3.5 Určení způsobů odstranění poruch prvků a predikce souvisejících nákladů

3.5.1 Určení způsobů odstranění poruch prvků

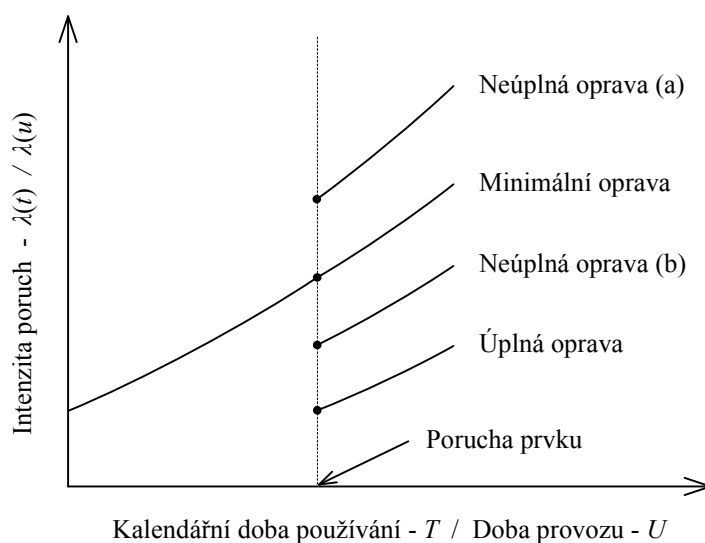
Každému prvku získanému dekompozicí systému a jeho možným identifikovaným poruchám (způsobům poruch) je nezbytné přiřadit odpovídající způsob odstranění těchto poruch.

V odborné literatuře je obecně popsáno několik typů oprav z hlediska chování prvku po opravě. Nejčastěji je uváděno následující rozdělení [3], [4], [25]:

- Úplná oprava – po opravě má prvek stejné vlastnosti jako nový prvek. Tzn. prvek má stejné rozdělení náhodné proměnné (doby mezi poruchami) a jeho parametry jako nový. Tato situace nastane v případě, pokud je prvek v rámci opravy vyměněn za identický, ale zcela nový prvek, nebo v případě tzv. generální opravy.

- Minimální oprava – po opravě má prvek stejné vlastnosti jako před poruchou. Tzn. prvek má stejné rozdělení náhodné proměnné (doby mezi poruchami) a jeho parametry jako před poruchou. Tato situace nastane v případě navrácení prvku do stavu, v jakém se nacházel před poruchou (např. dotažením, svařením, seřízením, očištěním, namazáním).
- Neúplná oprava (a) – po opravě má prvek horší vlastnosti než před poruchou. Tzn. po opravě je intenzita poruch prvku vyšší, než byla před opravou.
- Neúplná oprava (b) – po opravě má prvek horší vlastnosti než nový prvek, ale lepší než před poruchou. Tzn. po opravě je intenzita poruch nižší, než byla před opravou, ale vyšší než u nového prvku.

Graficky je uvedené rozdělení vhodně charakterizováno na Obr. 3-3 [4].



Obr. 3-3: Změna intenzity poruch prvku po provedení daného typu opravy

V praxi je žádoucí neúplnou opravu typu (a) nepřipouštět, případně připouštět pouze jako výjimečnou (nouzovou) variantu do doby, než bude proveden jiný typ opravy. U konkrétních neúplných oprav typu (b) je možné rozhodnout o zařazení do kategorie úplných oprav nebo lze přijmout konzervativní předpoklad minimální opravy. Z uvedených důvodů jsou dále uvažovány pouze úplné a minimální opravy.

S ohledem na uvedené rozdělení oprav a uvedené předpoklady lze definovat následující způsoby odstranění poruch prvků:

- Výměna prvku – v případě poruchy je prvek vyměněn za nový. Tento způsob odstranění poruchy patří do kategorie úplných oprav.
- Oprava prvku úplnou opravou – v případě poruchy je prvek opraven za předpokladu úplné opravy.
- Oprava prvku minimální opravou – v případě poruchy je prvek opraven za předpokladu minimální opravy.
- Seřízení prvku – v případě poruchy je prvek seřízen. Tj. je opraven minimální opravou, ale nejsou spotřebovány žádné materiály a náhradní díly.
- Výměna subsystému – v případě poruchy je současně s porouchaným prvkem vyměněn celý subsystém. Tento způsob odstranění poruchy patří do kategorie úplných oprav.

Konkrétní způsob odstranění poruchy závisí na rozhodnutí dodavatele, které je ovlivněno zejména typem prvku, identifikovaným způsobem poruchy, konstrukčním uspořádáním a vychází z předpokládané politiky údržby a politiky záruk.

Pro jeden identifikovaný způsob poruchy lze určit více způsobů odstranění poruchy, přičemž je nutné rozhodnout, který způsob bude ekonomicky výhodnější a bude následně aplikován. Nejčastěji se jedná o rozhodnutí, zda provádět opravu (minimální, úplnou) nebo výměnu prvku, případně subsystému. V uvedeném případě se pro všechny určené způsoby odstranění poruch u daného způsobu poruchy odhadnou záruční náklady (dle dále uvedených postupů) a zvolí se ekonomicky nejvýhodnější varianta. Rozhodnutí však může být ovlivněno nejen ekonomickou stránkou, ale i uplatňovanou záruční politikou, případně politikou údržby.

Je důležité zmínit fakt, že v záruční době bývají obvykle způsoby odstranění poruch dodavatelem předem přesně definovány.

3.5.2 Predikce nákladů souvisejících s odstraněním poruch prvků

Při odstraňování poruchy prvku v záruční době je nezbytné vynaložit jisté finanční prostředky, které lze rozdělit do následujících skupin:

- Náklady na náhradní díly a materiály;
- Náklady na pracovní kapacitu;
- Další náklady.

U produktu jako celku jsou ve většině případů uvedené náklady náhodnými proměnnými a předem nelze určit jejich přesnou hodnotu. Avšak pro jednotlivé způsoby poruch, resp. způsoby odstranění poruch, lze tyto náklady relativně přesně předpovědět. S ohledem na uvedené je tudíž nezbytné provést predikci středních hodnot zmíněných nákladů.

Odstraněním poruchy prvku se rozumí identifikování poruchy prvku v rámci systému, odstranění důsledků poruchy a následná kontrola funkčnosti prvku a celého systému.

Náklady na náhradní díly a materiály zahrnují veškeré náklady na náhradní díly a materiály, které budou spotřebovány při odstranění poruchy prvku. Tyto náklady se odvíjí zejména od identifikovaného způsobu poruchy a zvoleného způsobu jejího odstranění. Střední hodnotu nákladů na náhradní díly a materiály lze predikovat s využitím zkušeností s opravami obdobných prvků, zkušeností s reklamačními řízeními, zkušeností s opravářskou činností, expertních odhadů apod.

Vzhledem k výše definovaným způsobům odstranění poruch prvků lze náklady na náhradní díly a materiály predikovat v jednotlivých případech následovně:

- Výměna prvku – náklady jsou rovny nákladům na pořízení nového prvku.
- Oprava prvku úplnou nebo minimální opravou – náklady je nutno predikovat s ohledem na konkrétní případ.
- Seřízení prvku – náklady jsou nulové.
- Výměna subsystému – náklady jsou rovny nákladům na pořízení nového subsystému.

S ohledem na uvedené je nezbytné predikovat střední hodnotu nákladů na náhradní díly a materiály nezbytné k odstranění i -té poruchy \bar{M}_i a střední hodnotu nákladů na náhradní díly a materiály nezbytné k odstranění j -té poruchy \bar{M}_j .

Do další skupiny nákladů patří náklady na pracovní kapacitu nutnou pro identifikování poruchy prvku v rámci systému, odstranění důsledků poruchy a následnou kontrolu funkčnosti prvku a celého systému. Tyto náklady závisí zejména na identifikovaném způsobu poruchy, zvoleném způsobu jejího odstranění, typu prvku, konstrukčním uspořádání a finančním ohodnocení pracovníků. Střední hodnotu nákladů na pracovní kapacitu lze predikovat s využitím zkušeností s opravami obdobných prvků, zkušeností s reklamačními řízeními, zkušeností s opravářskou činností, expertních odhadů apod.

S ohledem na uvedené je nezbytné predikovat střední hodnotu nákladů na pracovní kapacitu potřebnou k odstranění i -té poruchy \bar{P}_i a střední hodnotu nákladů na pracovní kapacitu potřebnou k odstranění j -té poruchy \bar{P}_j .

Mezi další náklady související s odstraněním poruchy prvku patří zejména náklady spojené s dopravou prvku nebo celého systému (produktu), náklady na náhrady zákazníkovi během odstraňování poruchy (např. náklady na poskytnutí náhradního produktu po dobu odstraňování poruchy) a administrativní náklady. Střední hodnotu dalších nákladů lze predikovat s využitím zkušeností s reklamačními řízeními. V mnoha případech jsou tyto náklady stejné pro všechny identifikované způsoby poruch systému.

S ohledem na uvedené je nezbytné predikovat střední hodnotu dalších nákladů souvisejících s odstraněním i -té poruchy \bar{D}_i a j -té poruchy \bar{D}_j .

Výslednou střední hodnotu nákladů souvisejících s odstraněním i -té poruchy lze poté predikovat následovně:

$$\bar{R}_i = \bar{M}_i + \bar{P}_i + \bar{D}_i \quad (3.16)$$

Výslednou střední hodnotu nákladů souvisejících s odstraněním j -té poruchy lze analogicky predikovat následovně:

$$\bar{R}_j = \bar{M}_j + \bar{P}_j + \bar{D}_j \quad (3.17)$$

S využitím uvedených postupů a vztahů je třeba určit hodnotu \bar{R}_i pro všechna $i \in \langle 1; m \rangle$, kde m je počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání. Je třeba určit také hodnotu \bar{R}_j pro všechna $j \in \langle 1; k \rangle$, kde k je počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu.

3.6 Predikce počtu poruch prvků v záruční době

Již bylo zmíněno v kapitole 2.5, že v oblasti dvourozměrných záruk je používána převážně dvourozměrná neobnovovaná plná záruka. Na tento typ záruky jsou zaměřeny vztahy uvedené dále v této kapitole.

Pro jednotlivé identifikované poruchy (způsoby poruch) je nezbytné predikovat počet jejich výskytů v záruční době. Přičemž způsob predikce závisí na určeném způsobu odstranění dané poruchy a také je třeba respektovat rozdělení poruch do dvou skupin uvedených v kapitole 3.3 (poruchy, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání, a poruchy, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu).

Vzhledem k tomu, že predikce počtu poruch v záruční době je založena na ukazatelích bezporuchovosti, je třeba počet poruch v záruční době chápat jako náhodnou proměnnou. Proto je nezbytné provést predikci středního počtu poruch (počtu výskytů poruch) v záruční době.

Střední počet výskytů i -té poruchy (její pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání) v záruční době lze predikovat s využitím vztahů (2.3) a (2.4) následovně:

- pro případ úplné opravy:

$$\bar{N}_i = \sum_{n=0}^{\infty} F_i^{(n)}(t) \quad (3.18)$$

- pro případ minimální opravy:

$$\bar{N}_i = \int_0^t \lambda_i(t) dt \quad (3.19)$$

Střední počet výskytů j -té poruchy (její pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu) v záruční době lze predikovat s využitím vztahů (2.3) a (2.4) následovně:

- pro případ úplné opravy:

$$\bar{N}_j = \sum_{n=0}^{\infty} F_j^{(n)}(u) \quad (3.20)$$

- pro případ minimální opravy:

$$\bar{N}_j = \int_0^u \lambda_j(u) du \quad (3.21)$$

Analyticky lze hodnotu funkce obnovy použitou ve vztazích (3.18) a (3.20) určit pouze pro vybrané typy rozdělení náhodné proměnné. Pro většinu typů rozdělení lze určit hodnotu funkce obnovy například s použitím tabulek uvedených v odborné literatuře, využitím přibližných vztahů, numerickými metodami nebo simulačními metodami [3], [4].

Analytický výpočet integrálu použitého ve vztazích (3.19) a (3.21) je možný také jen pro vybrané typy rozdělení náhodné proměnné. Pro většinu používaných rozdělení náhodné proměnné je nutno výpočet provádět například s využitím numerickým metod.

Pro případ exponenciálního rozdělení kalendářní doby používání mezi poruchami nebo doby provozu mezi poruchami je intenzita poruch konstantní a není případnými opravami (úplnými nebo minimálními) ovlivněna. Tato situace představuje z hlediska výpočtu středního počtu výskytů i -té, resp. j -té, poruchy nejjednodušší případ.

Střední počet výskytů i -té poruchy v záruční době lze poté (pro exponenciální rozdělení) predikovat s využitím vztahu (3.18) nebo (3.19) následovně:

$$\bar{N}_i = \lambda_i t_0 \quad (3.22)$$

Střední počet výskytů j -té poruchy v záruční době lze poté (pro exponenciální rozdělení) predikovat s využitím vztahu (3.20) nebo (3.21) následovně:

$$\bar{N}_j = \lambda_j u_0 \quad (3.23)$$

S využitím uvedených postupů a vztahů je třeba určit hodnotu \bar{N}_i pro všechna $i \in \langle 1; m \rangle$, kde m je počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání. Je třeba určit také hodnotu \bar{N}_j pro všechna $j \in \langle 1; k \rangle$, kde k je počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu.

3.7 Predikce záručních nákladů pro celý systém

Na základě informací uvedených v předcházejících kapitolách lze získat data potřebná pro provedení predikce hodnot vztahujících se k produktu jako celku.

V kapitole 3.2 je popsán způsob, jak rozdělit produkt (systém) na jednotlivé subsystémy a prvky, pro které jsou dle kapitoly 3.3 identifikovány jednotlivé způsoby poruch. V kapitole 3.4 jsou uvedeny možnosti predikce pravděpodobnosti vzniku jednotlivých poruch. V kapitole 3.5.1 je popsáno přiřazení odpovídajících způsobů jejich odstranění a v kapitole 3.5.2 jsou uvedeny způsoby predikce nákladů souvisejících s jejich odstraněním. V předešlé kapitole 3.6 jsou uvedeny vztahy umožňující predikovat počty výskytů jednotlivých poruch v záruční době.

Konkrétně lze využitím vztahů (3.16) a (3.17) uvedených v kapitole 3.5.2 predikovat hodnoty nákladů souvisejících s odstraněním i -té poruchy \bar{R}_i pro všechna $i \in \langle 1; m \rangle$ a hodnoty nákladů souvisejících s odstraněním j -té poruchy \bar{R}_j pro všechna $j \in \langle 1; k \rangle$. Dále lze s využitím vztahů (3.18) až (3.21) uvedených v kapitole 3.6 predikovat střední počet výskytů i -té poruchy v záruční době \bar{N}_i pro všechna i a střední počet výskytů j -té poruchy v záruční době \bar{N}_j pro všechna j .

Uvedené hodnoty lze využít k predikci středních záručních nákladů vztahujících se k i -té nebo j -té poruše:

$$\bar{C}_i = \bar{N}_i \bar{R}_i \quad (3.24)$$

$$\bar{C}_j = \bar{N}_j \bar{R}_j \quad (3.25)$$

Pro případ exponenciálního rozdělení kalendářní doby používání nebo doby provozu mezi poruchami lze uvedené vztahy zapsat následovně:

$$\bar{C}_i = \lambda_i t_0 \bar{R}_i \quad (3.26)$$

$$\bar{C}_j = \lambda_j u_0 \bar{R}_j \quad (3.27)$$

Doposud získané hodnoty lze využít především k následujícím predikcím vztahujícím se k celému produktu (systému).

Predikci středního počtu výskytů všech poruch systému v záruční době lze provést následovně:

$$\bar{N} = \sum_{i=1}^m \bar{N}_i + \sum_{j=1}^k \bar{N}_j \quad (3.28)$$

Predikci středních nákladů souvisejících s odstraněním jedné poruchy lze provést následovně:

$$\bar{C}_R = \frac{1}{m+k} \left(\sum_{i=1}^m \bar{R}_i + \sum_{j=1}^k \bar{R}_j \right) \quad (3.29)$$

Finální vztah pro predikci středních záručních nákladů pro celý systém lze zapsat takto:

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^m \bar{C}_i + \sum_{j=1}^k \bar{C}_j \quad (3.30)$$

Vztah (3.30) lze rozepsat do následujícího tvaru:

$$\bar{C} = \sum_{i=1}^m \bar{N}_i \bar{R}_i + \sum_{j=1}^k \bar{N}_j \bar{R}_j \quad (3.31)$$

Uvedený vztah (3.31) je výsledným vztahem umožňujícím predikci středních záručních nákladů pro celý systém.

3.8 Dílčí závěr

Navržený postup predikce záručních nákladů u složitých produktů ukazuje, že je možno na produkt nahlížet jako na systém složený ze subsystémů a prvků a že tento předpoklad usnadňuje její praktickou realizaci. Postup sice vyžaduje znalost základních informací o bezporuchovosti a udržitelnosti jednotlivých prvků, ale tyto informace jsou obvykle u prvků dostupnější než u produktu jako celku. U složitých produktů je potřeba jednotlivé kroky aplikovat systematicky a cílevědomě a je potřeba postupovat prvek po prvek.

Jednotlivé kroky jsou logicky navazující, ale u složitých produktů je jejich provedení náročné nejen časově. Je proto vhodné uvažovat o využití běžně dostupné softwarové podpory, například ve formě přehledných tabulek obsahujících o každém prvek potřebné informace.

Je také vhodné uvažovat o propojení navržených kroků s metodami a analýzami, které jsou obvykle prováděny v počátečních etapách životního cyklu produktu. V rámci prediktivních analýz spolehlivosti produktu je obvykle prováděna analýza FMEA/FMECA, přičemž tu lze s výhodou propojit s predikcí záručních nákladů, jak je popsáno v následující kapitole.

4 Začlenění predikce záručních nákladů do FMEA/FMECA

V počátečních etapách životního cyklu produktu se obvykle provádí prediktivní analýzy spolehlivosti, ke kterým je většinou využívána metoda FMEA/FMECA. Smyslem této kapitoly je navrhnout způsob začlenění (nebo jinak řečeno propojení), navržené metody predikce záručních nákladů do metody FMEA/FMECA. Výhodou je, že některé kroky prováděné v rámci FMEA/FMECA jsou shodné nebo podobné s kroky navrženými pro predikci záručních nákladů.

4.1 Metoda FMEA/FMECA

Analýza způsobů a důsledků poruch (FMEA – *Failure Modes and Effects Analysis*) je systematický postup analýzy systému za účelem zjištění potenciálních způsobů poruch, jejich příčin a důsledků na technické parametry systému. Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (FMECA – *Failure Modes, Effects and Criticality Analysis*) je rozšířením analýzy FMEA spočívajícím v tom, že jsou do ní zahrnuty prostředky pro klasifikaci závažnosti způsobů poruch, aby bylo možné stanovit prioritu protiopatření. Tato klasifikace se provádí kombinováním míry závažnosti a četnosti výskytu, což vytváří metriku (relativní míru) zvanou kritičnost [35].

Metoda byla vyvinuta v šedesátých letech dvacátého století jako nástroj, který měl umožnit systematickou a vysoce organizovanou analýzu způsobů poruch prvků systému a posouzení jejich důsledků na jednotlivé subsystémy i systém jako celek. V současnosti metoda FMEA/FMECA patří k nejužívanějším metodám prediktivní analýzy spolehlivosti a je využívána v řadě oborů.

Jedná se o metodu induktivní, která provádí kvalitativní analýzu bezporuchovosti a bezpečnosti systému od nižší k vyšší úrovni členění systému a zkoumá, jakým způsobem mohou prvky na nižší úrovni selhat a jaký důsledek mohou mít tato selhání pro vyšší úroveň systému.

Nejvýznamnější využití proto metoda nachází především v etapě návrhu a vývoje, kde slouží jako součást přezkoumání návrhu. Svoje uplatnění však nachází i v etapě tvorby koncepce a specifikace požadavků, jako nástroj předběžné analýzy rizik, a při modifikacích a modernizacích systému nebo při změnách provozních podmínek jako prostředek identifikace a posouzení důsledků konstrukčních změn a provozních podmínek na bezporuchovost a bezpečnost systému. S úspěchem také bývá tato metoda používána při prokazování, že navrhovaný systém splňuje v oblasti bezporuchovosti a bezpečnosti požadavky norem, předpisů nebo zákazníka.

Informace získané při provádění FMEA/FMECA mohou sloužit jako podklad pro návrh konstrukčních změn systému, formulaci požadavků na provedení zkoušek, či identifikaci nebezpečných provozních režimů. Výsledky analýzy také poskytují nezbytné informace pro racionální návrh diagnostických postupů a systému údržby.

Metoda má i jistá omezení a nevýhody. Metoda může být relativně složitá, pracná a časově náročná v případě složitých systémů, které mají mnoho funkcí a sestávají z mnoha prvků, nebo je-li aplikována na složitý systém poprvé. Dalším omezením je skutečnost, že metoda nezahrnuje důsledky chyb lidského faktoru. Omezené jsou také možnosti analyzovat tzv. „poruchy se společnou příčinou“.

K tomu, aby mohla být provedena analýza systému metodou FMEA nebo FMECA je nezbytné, aby byly podrobně vymezeny podmínky jejího provedení a aby analytik měl k dispozici všechny potřebné vstupní údaje. Jde hlavně o následující informace:

- Účel a cíle analýzy;
- Technický popis systému;
- Definice funkcí systému a jeho prvků;
- Funkční členění systému;
- Definice rozhraní systému;
- Údaje o prvcích systému.

Při vlastní analýze jsou postupně všechny prvky systému (na zvolené nejnižší úrovni) podrobeny systematickému zkoumání, v rámci kterého se realizují zejména tyto kroky:

- identifikace způsobů poruch prvku, jejich důsledků a pravděpodobných příčin;
- identifikace metod a opatření k detekci a izolaci poruch;
- kvalitativní posouzení významnosti poruch a alternativní opatření.

V případě rozšíření analýzy o kvantitativní hodnocení (FMECA) se provádí ještě následující kroky:

- určení kritičnosti poruch;
- vyhodnocení pravděpodobnosti poruch.

Po provedení vlastní analýzy musí být provedeno její vyhodnocení, které má směřovat k přijetí souboru účinných nápravných opatření, zaměřených na odstranění příčin nejzávažnějších typů poruch nebo na snížení stupně jejich závažnosti. Výsledky analýzy se také vždy porovnávají s požadavky stanovenými v normách a předpisech (pokud existují) nebo s požadavky, které by měly být stanoveny ve schválených technických podmínkách pro vývoj, výrobu a provoz produktu.

Další informace o metodě FMEA/FMECA lze nalézt v odborné literatuře (např. [12]) a především v následujících technických normách:

- ČSN EN 60812 [35];
- SAE ARP5580 [43];
- SAE J1739 [44];
- MIL-STD-1629A [41].

4.2 Dokumentace FMEA/FMECA

Výsledky analýzy FMEA/FMECA je vhodné průběžně zaznamenávat do pracovního formuláře, který zachycuje podrobnosti analýzy v tabulkové formě. V dnešní době se formulář obvykle zpracovává v elektronické formě s využitím dostupného kancelářského softwaru (např. MS Excel nebo OpenOffice Calc) nebo lze využít specializované softwarové produkty (např. Relx FMEA/FMECA, ReliaSoft Xfmea, Item FMECA).

Obsah a uspořádání pracovního formuláře neupravuje žádný závazný předpis, proto může být uspořádání formuláře různorodé. Některá doporučení jsou uvedena v technických normách, avšak vždy by obsah a upořádání měly odpovídat specifickým cílům analýzy i charakteru analyzovaného systému.

Příklad pracovního formuláře FMEA, který je uveden na Obr. 4-1, umožňuje zaznamenání následujících informací:

Číslo řádku: Označuje číslo řádku tabulky.

Identifikace prvku: Jednoznačná identifikace prvku v systému (např.: pozice na výkrese sestavy, číslo výrobního výkresu, výrobní číslo, katalogové číslo).

Název prvku: Název prvku (shodný s výkresovou dokumentací) nebo jeho stručný popis.

Funkce prvku: Popis funkce prvku, tj. činnosti, prostřednictvím které plní prvek svůj účel.

Způsob poruchy: Popis způsobu poruchy, který je definován jako jev, jehož prostřednictvím je porucha na prvku pozorována.

Příčina poruchy: Popis nejpravděpodobnější příčiny daného způsobu poruchy.

Místní důsledek: Popis důsledků způsobu poruchy na uvažovaný prvek systému.

Důsledek na systém: Popis důsledků způsobu poruchy na systém jako celek.

Závažnost důsledků: Posouzení závažnosti důsledku způsobu poruchy pro systém, dle předem stanovených kategorií (kategorizace závažnosti důsledků).

Poznámky: Relevantní poznámky.

4.3 Začlenění predikce záručních nákladů do FMEA/FMECA

Navržený postup predikce záručních nákladů a metoda FMEA/FMECA mají společné první kroky, kterými jsou dekompozice systému na prvky a identifikace způsobů poruch prvků. Proto lze informace získané na základě navrženého postupu predikce záručních nákladů snadno začlenit do analýzy FMEA. Výsledkem je poté pracovní formulář FMEA rozšířený o následující údaje vztahující se k predikci záručních nákladů:

Typ poruchy: Udává typ poruchy (způsobu poruchy). Dle kapitoly 3.3 se rozlišují dva typy poruch: poruchy, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání (označení I), a poruchy, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu (označení J).

Pořadí: Udává pořadí daného typu poruchy (viz kapitola 3.3). Pro poruchy typu I nabývá pořadí hodnot $i \in \langle 1; m \rangle$. Pro poruchy typu J nabývá pořadí hodnot $j \in \langle 1; k \rangle$.

Způsob odstranění poruchy: Stručně popisuje způsob odstranění poruchy s ohledem na informace uvedené v kapitole 3.5.1. Udává také informaci o typu opravy: úplná (úo) nebo minimální (mo).

Náklady na ND a materiály: Udává střední hodnotu nákladů na náhradní díly a materiály nezbytné k odstranění dané poruchy (viz kapitola 3.5.2).

Náklady na pracovní kapacitu: Udává střední hodnotu nákladů na pracovní kapacitu potřebnou k odstranění dané poruchy (viz kapitola 3.5.2).

Další náklady: Udává střední hodnotu dalších nákladů souvisejících s odstraněním dané poruchy (viz kapitola 3.5.2).

Počet poruch: Udává střední počet výskytů dané poruchy v záruční době. Určí se s využitím vztahů (3.18) až (3.21) uvedených v kapitole 3.6.

Záruční náklady: Udává střední hodnotu záručních nákladů vztahujících se k dané poruše. Určí se s využitím vztahů (3.24) a (3.25) uvedených v kapitole 3.7.

Příklad pracovního formuláře FMEA rozšířeného o údaje týkající se predikce záručních nákladů je uveden na Obr. 4-2.

Na závěr formuláře (do posledního řádku) je vhodné uvést střední počet výskytů všech poruch systému v záruční době \bar{N} , který lze spočítat dle vztahu (3.28), a střední záruční náklady pro celý systém \bar{C} , které lze spočítat dle vztahu (3.30).

4.4 Dílčí závěr

Z navrženého způsobu začlenění predikce záručních nákladů je zřejmé, že relativně malým rozšířením analýzy FMEA/FMECA lze dosáhnout potřebných výsledků a značného usnadnění řešení problému predikce záručních nákladů u složitých produktů.

Vzhledem k předpokládané náročnosti provádění rozšířené FMEA/FMECA je vhodné uvažovat o využití softwarové podpory, ať již prostřednictvím dostupného kancelářského softwaru nebo specializovaného softwaru pro analýzu FMEA/FMECA.

System:		FMEA + Predikce záručních nákladů Analýza způsobů a důsledků poruch + Predikce záručních nákladů						Vypracoval:		List:	
								Identifikace systému:		Typ poruchy	Pořadí
		<i>Sloupec FMEA</i>	i / j [-]	-	M_i / M_j [Kč]	P_i / P_j [Kč]	\bar{D}_i / \bar{D}_j [Kč]	\bar{N}_i / \bar{N}_j [-]	\bar{C}_i / \bar{C}_j [Kč]		
										
										
										
										
		Suma	-	-	-	-	-	-	-	\bar{N}	\bar{C}

Obr. 4-2: Příklad pracovního formuláře FMEA rozšířeného o predikci záručních nákladů

5 Stanovení okamžiku ukončení záruční doby při použití dvourozměrné záruky

5.1 Úvod

Při použití dvourozměrné záruky za jakost je třeba řešit další problém úzce související se záručními náklady. Při použití dvourozměrné záruky za jakost nejsou záruční náklady ovlivněny jen podmínkami záruky a úrovní spolehlivosti, ale také chováním zákazníků, konkrétně intenzitou, s jakou produkt používají. Pro provedení predikce záručních nákladů a řešení souvisejících problémů je proto nezbytné stanovit okamžik, ve kterém dojde k ukončení záruční doby. Bez znalosti okamžiku ukončení záruční doby nelze aplikovat postup predikce záručních nákladů uvedený v kapitole 3. Okamžik ukončení záruční doby lze stanovovat více možnými způsoby, které jsou naznačeny v kapitole 5.2.2. Disertační práce je zaměřena především na navržení postupu umožňujícího stanovit okamžik ukončení záruční doby v případě, kdy nejsou k dispozici dostatečné informace z reklamačních řízení.

Následující kapitoly jsou zaměřeny na dvourozměrnou neobnovovanou plnou záruku (podrobnosti o tomto typu záruky viz kapitoly 2.3.2 a 2.4.3), jejíž oblast krytí je uvedena na Obr. 2-2. Tato záruka je nejpoužívanějším typem dvourozměrné záruky.

V dalších kapitolách jsou nejprve popsány možné průběhy záruční doby a možné způsoby zjišťování okamžiku jejího ukončení. Jako hlavní bod je navržen postup predikce okamžiku ukončení záruční doby a je popsána praktická aplikace navrženého postupu. Na závěr jsou uvedeny příklady využití navrženého postupu při řešení nejčastějších problémů souvisejících s poskytováním dvourozměrných záruk za jakost a záručními náklady.

5.2 Průběh záruční doby a okamžik jejího ukončení

5.2.1 Průběh záruční doby

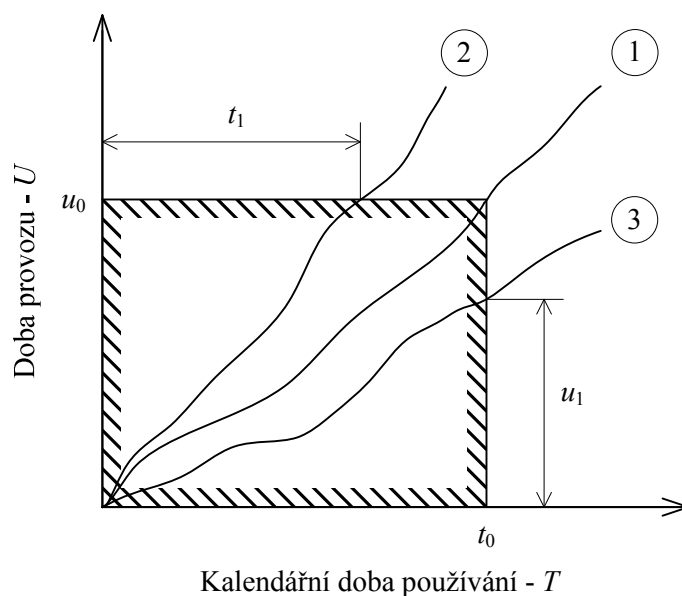
V případě uvažované dvourozměrné záruky, jejíž oblast krytí je znázorněna na Obr. 2-2, může záruční doba u produktu probíhat v podstatě třemi způsoby, které následně určují okamžik ukončení záruční doby.

Varianta 1 (viz Obr. 5-1, křivka 1) je charakterizována tím, že v okamžiku ukončení záruky bude vyčerpána jak garantovaná kalendářní doba používání (t_0), tak garantovaná doba provozu (u_0). Je nutné podotknout, že tato varianta je spíše „teoretická“, protože její praktické dosažení je velmi málo pravděpodobné.

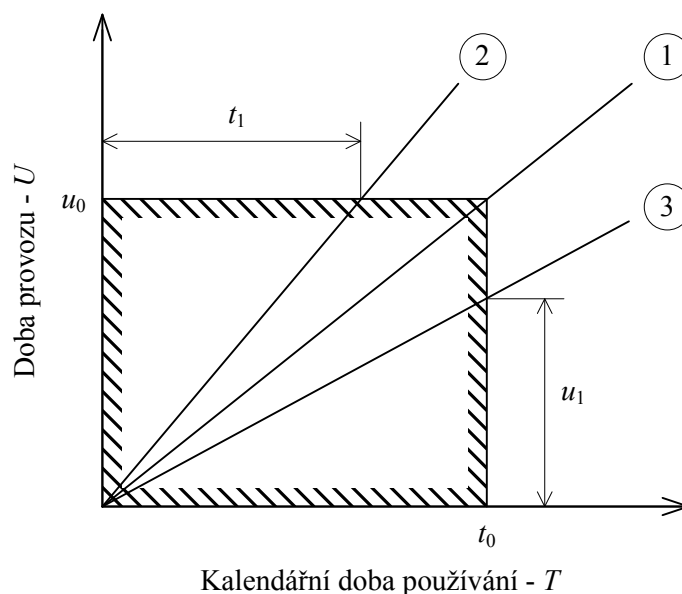
V případě varianty 2 (viz Obr. 5-1, křivka 2) záruka končí po překročení garantované doby provozu (u_0), přičemž garantovaná kalendářní doba používání (t_0) nebyla vyčerpána. Hodnota t_1 je tudíž náhodnou proměnnou.

V případě varianty 3 (viz Obr. 5-1, křivka 3) záruka končí po překročení garantované kalendářní doby používání (t_0), přičemž garantovaná doba provozu (u_0) nebyla vyčerpána. Hodnota u_1 je tudíž náhodnou proměnnou.

Pro potřeby řešení můžeme předpokládat, že průběh záruční doby je konstantní a křivky v Obr. 5-1 můžeme nahradit přímkami (viz Obr. 5-2).



Obr. 5-1: Oblast krytí 2-D zárukou a skutečné průběhy záruční doby



Obr. 5-2: Oblast krytí 2-D zárukou a konstantní průběhy záruční doby

5.2.2 Možnosti zjišťování okamžiku ukončení záruční doby

Každý jednotlivý produkt je v průběhu záruční doby používán odlišným způsobem, tudíž je zřejmé, že lze jen obtížně předem přesně stanovit, ve kterém okamžiku dojde k ukončení záruční doby. Znalost uvedeného okamžiku je však nezbytná pro aplikování postupu predikce záručních nákladů navrženého v kapitole 3. Okamžik ukončení záruční doby lze stanovovat více možnými způsoby, které jsou dále podrobně analyzovány.

První a nejjednodušší způsob vychází z předpokladu průběhu záruční doby dle varianty 1 (viz Obr. 5-2, přímká 1). Při predikci záručních nákladů dle postupu navrženého v kapitole 3 lze poté do výpočtových vztahů dosazovat přímo parametry záruky t_0 a u_0 . Tímto způsobem lze provést predikci záručních nákladů při maximálně nevýhodném využití záruční doby z hlediska dodavatele, jinak řečeno, lze provést konzervativní predikci středních záručních nákladů. Uvedený postup je na jedné straně nejjednodušší, ale na druhé straně je nepřesný.

Mnohem vhodnější je provést předpověď průběhu a okamžiku ukončení záruční doby. V některých případech lze uvedenou předpověď provést relativně snadno s využitím informací o předpokládaném použití produktu. Tyto informace mohou mít různou formu, např. je dána předpokládaná doba provozu za určitou kalendářní dobu a přepokládaný počet dní v roce, kdy bude produkt používán (např. vozidlo bude v provozu průměrně 330 dní v roce a denně ujede průměrně 400 km). Tato situace se týká především produktů určených pro konkrétního zákazníka (produktů na zakázku), kdy uvedené údaje mohou být součástí obchodních podmínek, případně specifikací produktu. V uvedeném případě lze vypočítat předpokládanou dobu provozu u_1 , které bude dosaženo v kalendářní době t_0 a dle vzniklé situace lze předpovědět okamžik ukončení záruční doby následovně:

$$\begin{aligned} \text{pro } u_1 < u_0: & \quad (t_0, u_1) \\ \text{pro } u_1 = u_0: & \quad (t_0, u_0) \\ \text{pro } u_1 > u_0: & \quad (t_1, u_0), \text{ kde } t_1 = t_0 \frac{u_0}{u_1} \end{aligned} \quad (5.1)$$

Při predikci záručních nákladů dle postupu navrženého v kapitole 3 lze poté do výpočtových vztahů dosazovat jednu z dvojic (t_0, u_1) , (t_0, u_0) nebo (t_1, u_0) .

V případě tzv. produktů určených pro trh (spotřebních produktů), kde záruky nacházejí největší uplatnění, je situace poněkud složitější. Z toho důvodu je uvedená situace věnována následující samostatná kapitola.

5.3 Predikce okamžiku ukončení záruční doby

Tato kapitola a následující podkapitoly se zabývají predikcí okamžiku ukončení záruční doby v případě tzv. produktů určených pro trh (spotřebních produktů). V případě těchto produktů jednotliví zákazníci používají produkt s různou intenzitou, která se může v jednotlivých případech výrazně lišit. V takovém případě je obtížné předpovídat přesnou dobu provozu (např. počet km) realizovanou produktem za určitou kalendářní dobu (např. jeden rok).

Pokud jsou k dispozici dostatečné informace získané z reklamačních řízení, jsou postupy predikce okamžiku ukončení záruční doby nebo záručních nákladů známy a publikovány v odborných člancích, např. [18], [20], [33].

Avšak v některých případech uvedené postupy použít nelze. Zejména v počátečních etapách životního cyklu produktu, kdy ještě nejsou k dispozici informace z reklamačních řízení, nebo při zahájení prodeje produktu na jiném trhu charakterizovaném odlišným chováním zákazníků, kdy již určité informace máme, ale nelze je použít.

Je také nezbytné zmínit, že při využití informací z reklamačních řízení jsou k dispozici informace pouze ze zárukou vymezené doby a například při změně parametrů záruky se mohou stát tyto informace nedostatečnými.

Ve výše popsané situaci se nabízí možnost „identifikovat“ chování zákazníků, tzn. zjistit intenzitu používání produktu jednotlivými zákazníky. Navržený způsob identifikace chování zákazníků a následné předpovědi okamžiku ukončení záruční doby je podrobně popsán v následujících podkapitolách.

5.3.1 Postup predikce okamžiku ukončení záruční doby

Prvním krokem postupu je již zmíněná „identifikace“ chování zákazníků, která spočívá ve zjištění předpokládané doby provozu (např. počtu km), kterou realizuje produkt za určitou kalendářní dobu používání (např. jeden rok). Pokud je produkt zákazníky používán, jedná se o informace o dosavadním průběhu používání. Pokud se jedná o nový produkt, případně produkt umístěný na nový trh, je možno zjistit chování zákazníků vlastních obdobný produkt (např. předchozí model, obdobnou kategorii produktu atd.).

Jednou z možností identifikace chování zákazníků je metoda dotazování, která je dodavateli běžně využívána. Navrhovaný postup predikce okamžiku ukončení záruční doby je založen právě na dotazování zákazníků a lze jej rozdělit do následujících logicky navazujících kroků:

- Dotazování zákazníků;
- Statistické zpracování získaných dat;
- Predikce okamžiku ukončení záruční doby.

Jednotlivé kroky lze realizovat více možnými způsoby. Dále je podrobně popsán vybraný způsob řešení, který autor považuje za vhodný a prakticky realizovatelný.

Několikrát zmíněnou intenzitu používání produktu lze obecně charakterizovat dobou provozu (např. počtem km) realizovanou během jednotky kalendářní doby používání (např. jednoho roku). Takto definovanou intenzitu používání produktu lze poté vyjádřit vztahem:

$$Y = \frac{U}{T} \quad (5.2)$$

S ohledem na popsanou intenzitu používání lze definovat tzv. záruční intenzitu používání, které bude dosaženo, pokud bude záruční doba probíhat dle varianty 1 popsané v kapitole 5.2.1 a na Obr. 5-2, křivce 1:

$$y_0 = \frac{u_0}{t_0} \quad (5.3)$$

V případě průběhu záruční doby dle varianty 2 (viz kapitola 5.2.1 a Obr. 5-2, křivka 2) je intenzita používání produktu vyšší než záruční intenzita používání:

$$Y > y_0 \quad (5.4)$$

V případě průběhu záruční doby dle varianty 3 (viz kapitola 5.2.1 a Obr. 5-2, křivka 3) je intenzita používání produktu nižší než záruční intenzita používání:

$$Y < y_0 \quad (5.5)$$

Obecně lze intenzitu používání produktu považovat za spojitou náhodnou proměnou. V návaznosti na tento poznatek lze zopakovat, že kalendářní doba používání do ukončení záruky t_1 , respektive doba provozu zrealizovaná během záruky u_1 má u jednotlivých produktů charakter náhodné proměnné.

Dotazování zákazníků

Jako první krok je nezbytné dotázat se dostatečného počtu stávajících či potenciálních zákazníků (uživatelů) příslušného typu produktu na intenzitu, s jakou produkt používají (u stávajících zákazníků) či s jakou intenzitou by produkt v případě pořízení používali (u potenciálních zákazníků). Případně je možno se dotazovat zákazníků vlastních obdobných produktů (např. předchozí model, obdobnou kategorii produktu, atd.). Výběr dotazovaných zákazníků musí být proveden tak, aby tento vzorek dobře reprezentoval celou cílovou skupinu, které je produkt určen.

Konkrétně je nezbytné získat informace v jedné ze dvou forem:

- Celkovou dobu provozu realizovanou za celou kalendářní dobu používání produktu (např. celkový počet najetých km za všechny měsíce používání).
- Dobu provozu realizovanou během jednotky kalendářní doby používání produktu (např. počet najetých km za jeden rok používání).

Statistické zpracování získaných dat

V dalším kroku je nezbytné statisticky zpracovat data získaná dotazováním. Je vhodné rozdělení náhodné proměnné (intenzity používání) nahradit některým ze známých spojitých rozdělení pravděpodobnosti. Rozdělení náhodné proměnné je vhodné následně popsat odpovídající funkcí, tj. distribuční funkcí $F(y)$ nebo funkcí hustoty pravděpodobnosti $f(y)$. Vzájemný vztah těchto funkcí je dán vztahem [2], [23]:

$$F(y) = \int_{-\infty}^y f(z) dz \quad (5.6)$$

V řešeném případě hodnota distribuční funkce $F(y)$ udává pravděpodobnost toho, že náhodná proměnná Y (intenzita používání produktu) nabude nejvýše hodnoty y . Což lze matematicky vyjádřit následovně:

$$F(y) = P(Y \leq y) \quad (5.7)$$

V integrálu vztahu (5.6) je jako dolní mez uvedena hodnota $y = -\infty$. Tento zápis je věcně správný a vyplývá z obecné definice distribuční funkce a funkce hustoty pravděpodobnosti, avšak vzhledem k charakteru analyzované náhodné proměnné je zřejmé, že tato proměnná může nabývat pouze nezáporných hodnot. Za vhodnou náhradu prvotních statistických informací lze proto považovat pouze takové rozdělení pravděpodobnosti, pro které bude platit, že $P(Y < 0) \rightarrow 0$. V takovém případě potom lze v integrálech následujících vztahů místo

$y = -\infty$ u hodnoty dolní meze uvádět hodnotu $y = 0$, aniž by při vlastních výpočtech vznikly nepřijatelné nepřesnosti.

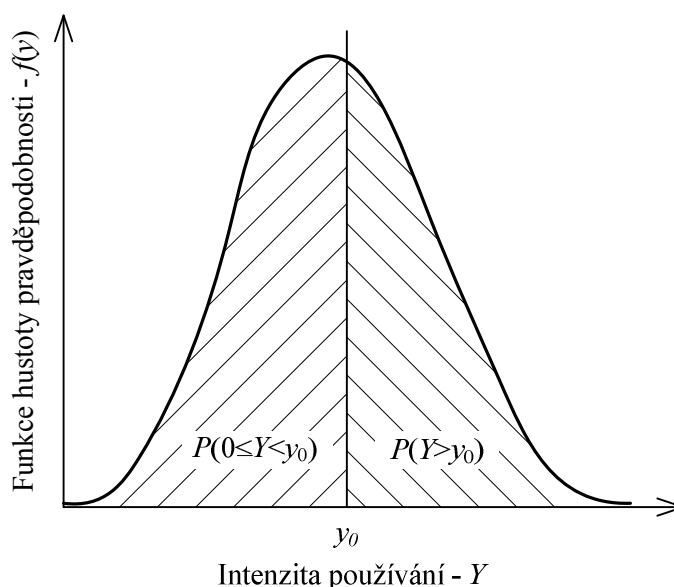
S využitím vztahu (5.6) lze také určit pravděpodobnost toho, jakým způsobem bude záruka ukončena. V souladu s podmínkou vyjádřenou vztahem (5.5) dojde k ukončení záruky překročením garantované kalendářní doby používání v případě, že produkt bude používán s nižší intenzitou, než je záruční intenzita používání y_0 . Pravděpodobnost toho, že záruka bude u produktu ukončena tímto způsobem, lze určit s využitím vztahu:

$$P(0 \leq Y < y_0) = \int_0^{y_0} f(y) dy \quad (5.8)$$

Analogicky lze určit pravděpodobnost toho, že záruka bude u produktu ukončena překročením garantované doby provozu, tj. při splnění podmínky vyjádřené vztahem (5.4), kdy je produkt používán s vyšší intenzitou, než je záruční intenzita používání. Příslušnou pravděpodobnost lze v takovém případě určit podle vztahu:

$$P(Y > y_0) = \int_{y_0}^{\infty} f(y) dy \quad (5.9)$$

Příklad možného tvaru funkce hustoty pravděpodobnosti a grafické interpretace pravděpodobností vyjádřených rovnicemi (5.8) a (5.9) jsou znázorněny na Obr. 5-3.



Obr. 5-3: Funkce hustoty pravděpodobnosti náhodné proměnné Y

Predikce okamžiku ukončení záruční doby

Z obecných vlastností funkce hustoty pravděpodobnosti vyplývá, že střední hodnotu náhodné proměnné lze v analyzovaném případě určit s využitím známého vztahu [2]:

$$\bar{y} = \int_0^{\infty} yf(y)dy \quad (5.10)$$

S ohledem na definici použité náhodné proměnné vyjádřené rovnicí (5.2) představuje hodnota \bar{y} střední intenzitu používání produktu. S využitím této hodnoty je potom možné určit střední dobu provozu $\bar{u}(t)$ produktu během libovolné kalendářní doby používání t :

$$\bar{u}(t) = t\bar{y} = t \int_0^{\infty} yf(y)dy \quad (5.11)$$

S využitím vztahu (5.11) lze vypočítat střední dobu provozu \bar{u}_1 , které bude dosaženo v kalendářní době t_0 :

$$\bar{u}_1 = t_0 \int_0^{\infty} yf(y)dy \quad (5.12)$$

Na základě vztahu (5.12) lze predikovat okamžik ukončení záruční doby následovně:

$$\begin{aligned} \text{pro } \bar{u}_1 < u_0: & \quad (t_0, \bar{u}_1) \\ \text{pro } \bar{u}_1 = u_0: & \quad (t_0, u_0) \\ \text{pro } \bar{u}_1 > u_0: & \quad (\bar{t}_1, u_0), \text{ kde } \bar{t}_1 = t_0 \frac{u_0}{\bar{u}_1} \end{aligned} \quad (5.13)$$

V některých případech je vhodné predikovat nejen okamžik ukončení záruční doby, ale také určit střední dobu provozu, která bude realizována produktem v rámci záruky (\bar{u}_w). Proto se veličina \bar{u}_w liší od veličiny \bar{u}_1 , což lze podrobněji vysvětlit následovně. U určitého počtu produktů, charakterizovaného pravděpodobností $P(Y > y_0)$ (viz vztah (5.9)), bude záruka ukončena překročením garantované doby provozu u_0 a tudíž tyto produkty v záruce realizují dobu provozu rovnu právě u_0 . Jinými slovy, při řešení následujících problémů z oblasti záručních nákladů je předmětem zájmu jen doba provozu realizovaná v rámci záruky, a nikoliv doba realizovaná po ukončení záruky.

Pro určení střední doby provozu produktu v záruce \bar{u}_w nelze přímo použít vztah (5.11), respektive vztah (5.12). Při výpočtu střední doby provozu pro kalendářní dobu používání t_0 by totiž do výpočtu byla zahrnuta i ta část doby provozu, která bude podle rovnice (5.9) s jistou pravděpodobností realizována až po ukončení záruky, protože bude překročena garantovaná doba provozu u_0 .

Výpočet střední doby provozu produktu v záruce je proto třeba rozdělit do dvou částí. Pro hodnoty náhodné proměnné $Y < y_0$ lze realizovat standardní výpočet střední hodnoty, ale pro

hodnoty náhodné proměnné $Y > y_0$ musí být ve výpočtu uvažována konstantní hodnota $y = y_0$, která zajišťuje, že výpočet zohledňuje pouze dobu provozu realizovanou v záruce. Pro určení střední doby provozu produktu v záruce poté platí vztah:

$$\bar{u}_w = t_0 \left(\int_0^{y_0} yf(y)dy + \int_{y_0}^{\infty} y_0 f(y)dy \right) = t_0 \int_0^{y_0} yf(y)dy + t_0 y_0 \int_{y_0}^{\infty} f(y)dy \quad (5.14)$$

Tento vztah lze dále s využitím vztahu (5.3) upravit do následujícího tvaru:

$$\bar{u}_w = t_0 \int_0^{y_0} yf(y)dy + u_0 \int_{y_0}^{\infty} f(y)dy \quad (5.15)$$

5.3.2 Praktická aplikace predikce okamžiku ukončení záruční doby

V rámci řešení problematiky dvourozměrných záruk byl postup navržený v kapitole 5.3.1 prakticky použit na příkladu osobního vozu nižší střední třídy, který je vyráběn v České republice. Při praktické aplikaci byl proveden průzkum chování zákazníků, získaná data byla následně statisticky zpracována a na závěr byl předpovězen okamžik ukončení záruční doby a střední doba provozu produktu v záruce.

V prvním kroku byl proveden průzkum chování zákazníků (majitelů vozů daného typu) s cílem zjistit intenzitu, s jakou vůz používají. Data byla získána dotazováním (osobním nebo zprostředkovaným) majitelů jednotlivých vozidel v různých částech ČR. Celkem byla získána data o více než 550 vozidlech. Do průzkumu byla zahrnuta pouze vozidla, od jejichž uvedení do provozu neuplynulo více než 6 let.

U každého vozidla bylo zjištěno:

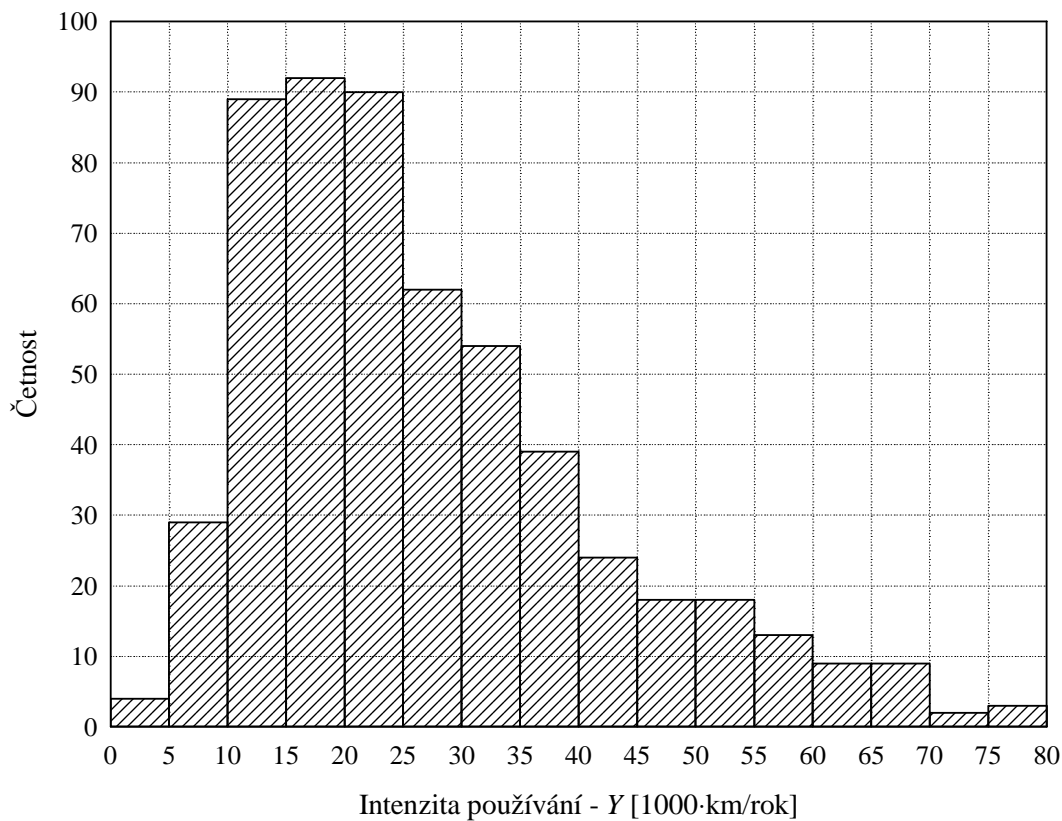
- datum uvedení vozidla do provozu a celkový počet najetých kilometrů do okamžiku zjišťování;
- nebo průměrný počet kilometrů najetých za jeden rok.

Ze zjištěných dat byla u každého vozidla vypočtena intenzita používání ve formě průměrného počtu najetých kilometrů za jeden rok používání vozidla.

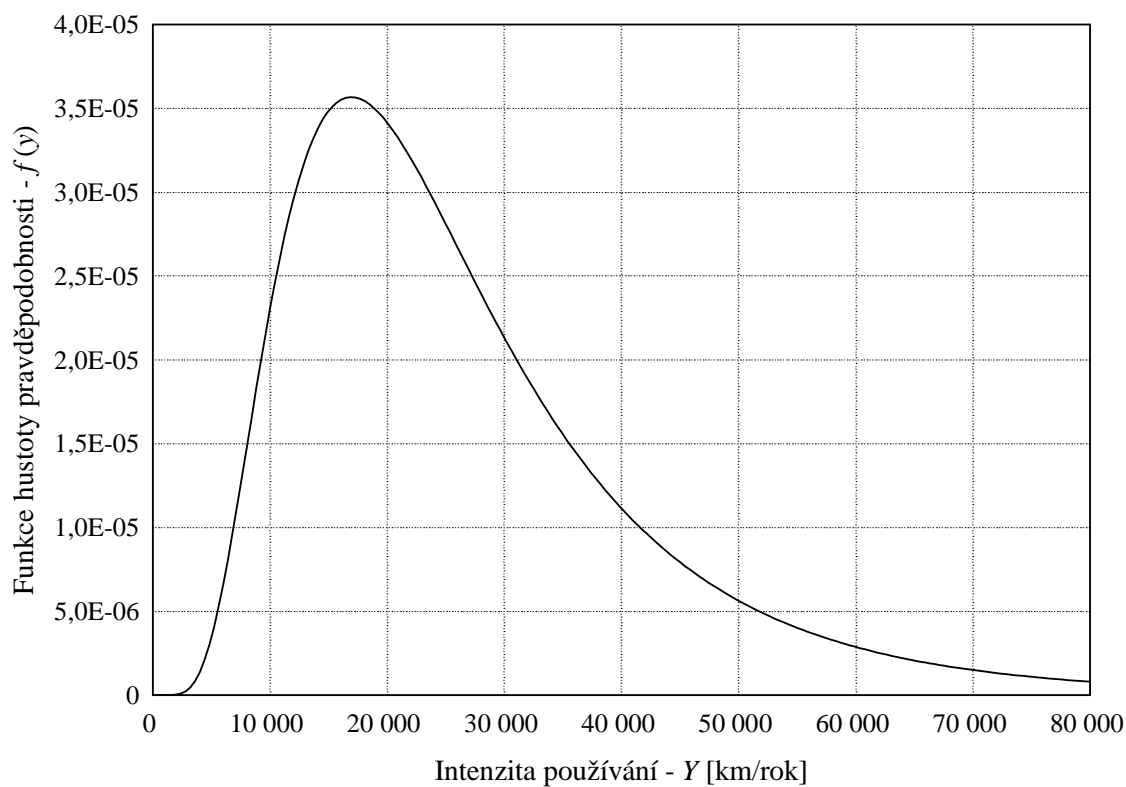
Tabulka získaných a vypočtených hodnot je uvedena v Příloze č. 1.

Získaná a upravená data byla následně statisticky zpracována s využitím softwarového produktu STATISTICA [63]. Navazující matematické výpočty byly realizovány s využitím softwarového produktu Mathcad [64].

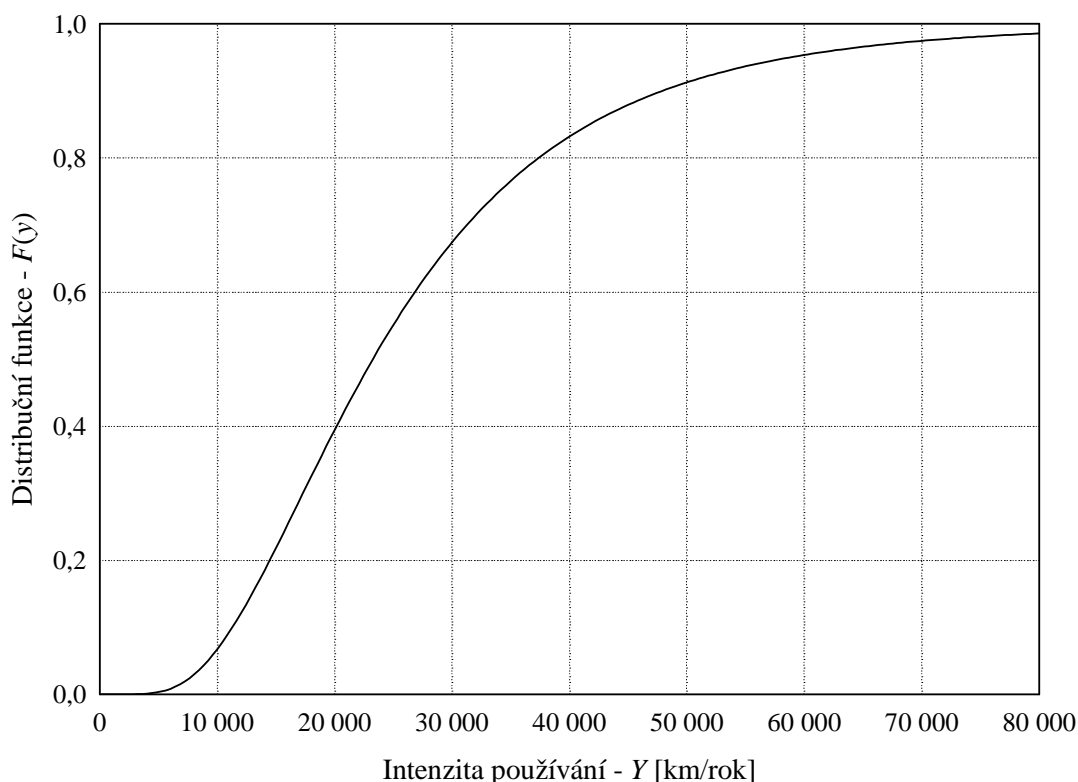
Zjištěný histogram četností počtu najetých kilometrů za jeden rok používání (intenzity používání) je zobrazen na Obr. 5-4. Při dalším zpracování s použitím fitování rozdělení pravděpodobnosti bylo zjištěno, že náhodnou veličinu (počet najetých kilometrů za jeden rok používání) lze vhodně popsat logaritmicko-normálním rozdělením s parametry $\mu^* = 10,055$ a $\sigma^{*2} = 0,318$. Mnoho zahraničních literárních zdrojů uvádí logaritmicko-normální rozdělení jako adekvátní volbu pro popis počtu najetých kilometrů za jeden rok používání [18]. Graf funkce hustoty pravděpodobnosti tohoto rozdělení je zobrazen na Obr. 5-5 a distribuční funkce na Obr. 5-6.



Obr. 5-4: Histogram intenzity používání



Obr. 5-5: Funkce hustoty pravděpodobnosti



Obr. 5-6: Distribuční funkce

V dalším řešení je uvažována dvourozměrná záruka s následujícími, často používanými parametry:

- $t_0 = 3$ roky;
- $u_0 = 100\,000$ km.

Takto definovanou záruku poskytuje na svoje osobní vozy řada světových výrobců (např. Toyota, Honda a Mitsubishi).

S využitím vztahu (5.3) lze pro tyto parametry záruky spočítat záruční intenzitu používání:

$$y_0 = \frac{u_0}{t_0} = \frac{100\,000}{3} = 33\,333,3 \text{ km/rok} \quad (5.16)$$

Na základě výsledků průzkumu chování zákazníků lze s využitím vztahu (5.10) vypočítat střední hodnotu intenzity používání:

$$\bar{y} = 27\,268 \text{ km/rok} \quad (5.17)$$

S ohledem k uvažovaným parametrům záruky lze s využitím vztahu (5.12) vypočítat střední dobu provozu \bar{u}_1 , které bude dosaženo v kalendářní době $t_0 = 3$ roky:

$$\bar{u}_1 = 81\,804 \text{ km} \quad (5.18)$$

S využitím vztahů (5.8), (5.9) a s využitím standardních výpočtových vztahů pro logaritmicko-normální rozdělení [2] lze určit pravděpodobnost toho, že záruční doba skončí překročením garantované doby provozu $u_0 = 100\,000$ km:

$$P(Y > y_0) = 0,2617 \quad (5.19)$$

a pravděpodobnost toho, že záruční doba skončí překročením garantované kalendářní doby používání $t_0 = 3$ roky:

$$P(0 \leq Y < y_0) = 0,7383 \quad (5.20)$$

Vzhledem k faktu, že $\bar{y} < y_0$, respektive $\bar{u}_1 < u_0$, lze dle vztahu (5.13) predikovat okamžik ukončení záruční doby následovně:

$$(t_0, \bar{u}_1) = (3 \text{ roky}, 81804 \text{ km}) \quad (5.21)$$

Na základě vztahu (5.15) lze predikovat střední dobu provozu v záruce:

$$\bar{u}_w = 69522 \text{ km} \quad (5.22)$$

Rozíl mezi veličinami \bar{u}_1 a \bar{u}_w je podrobně popsán v závěru kapitoly 5.3.1.

Způsoby využití získaných informací při řešení nejčastějších problémů souvisejících s poskytováním dvourozměrných záruk za jakost jsou naznačeny v následující kapitole.

5.4 Možnosti využití získaných informací

V následujících podkapitolách jsou popsány nejčastější možnosti využití informací získaných při predikci okamžiku ukončení záruční doby (viz kapitola 5.3). Informace lze využít pro řešení následujících tří základních problémů v oblasti záručních nákladů u dvourozměrných záruk za jakost:

- Predikce záručních nákladů při použití dvourozměrné záruky;
- Analýza vlivu změn parametrů dvourozměrné záruky na záruční náklady;
- Návrh parametrů dvourozměrné záruky při daných záručních nákladech.

Veškerá statistická zpracování dat a návazné výpočty byly realizovány s využitím softwarových produktů STATISTICA [63] a Mathcad [64].

5.4.1 Predikce záručních nákladů při použití dvourozměrné záruky

V dalším textu jsou popsány dva možné způsoby využití informací o predikovaném okamžiku ukončení záruční doby při predikci záručních nákladů při použití dvourozměrné záruky. Vždy je navržen teoretický postup a ten je následně aplikován na příkladu osobního vozu nižší střední třídy, který je shodný s příkladem uvedeným v kapitole 5.3.2.

Využití navrženého postupu predikce záručních nákladů

V případě, že je použit postup predikce záručních nákladů pro složité systémy navržený v kapitole 3, lze informace o predikovaném okamžiku ukončení záruční doby využít dále popsáním způsobem. Střední záruční náklady pro celý systém (viz vztah (3.31)) a do něj vstupující informace je třeba predikovat nikoliv pro parametry záruky (t_0, u_0) , ale pro predikovaný okamžik ukončení záruční doby (t_0, u_1) nebo (t_1, u_0) (viz vztah (5.13)).

Při uvážení výsledků praktické aplikace predikce okamžiku ukončení záruční doby uvedených v kapitole 5.3.2, je možno střední záruční náklady pro uvažovaný osobní vůz nižší střední třídy predikovat pro parametry $(t_0, \bar{u}_1) = (3 \text{ roky}, 81804 \text{ km})$.

Využití jednotkových záručních nákladů

Pokud jsou k dispozici informace o jednotkových záručních nákladech \bar{c} pro celý systém, lze střední záruční náklady predikovat způsobem popsáním v dalších odstavcích. Jednotkové náklady představují střední náklady, které je nutné vynaložit na vyřízení reklamací systému v záruční době, vztažené na jednotku doby provozu a obvykle vyjádřené v jednotkách Kč/km. Takto definované jednotkové záruční náklady lze použít u systémů, jejichž doba mezi poruchami se řídí exponenciálním rozdělením (viz kapitola 3.4). Zmíněné jednotkové záruční náklady lze získat na základě předchozích zkušeností (např. z jiného trhu) nebo expertních odhadů. Praktické možnosti a způsoby určení jednotkových záručních nákladů lze nalézt v odborné literatuře [3], [4].

S využitím vztahu (5.15) je nejprve nezbytné určit střední dobu provozu produktu v záruce \bar{u}_w . Poté je možno predikovat střední záruční náklady pro celý systém následovně:

$$\bar{C} = \bar{c} \bar{u}_w \quad (5.23)$$

Při uvážení výsledků praktické aplikace predikce okamžiku ukončení záruční doby uvedených v kapitole 5.3.2, je možno postupovat způsobem popsáním dále.

Informace o konkrétních hodnotách záručních nákladů jsou velmi citlivé a obvykle jsou dodavateli pečlivě tajeny. Z toho důvodu autor neměl k dispozici detailní informace o jednotkových záručních nákladech uvažovaného osobního vozu nižší střední třídy a byl nucen jednotkové náklady stanovit expertním odhadem. Při něm autor vycházel z následujících obecných informací, které jsou relativně snadno zjistitelné. Elektronický časopis *Warranty Week*[®] uvádí, že záruční náklady výrobců v automobilovém průmyslu se obvykle pohybují v rozpětí 1–5 % z tržeb [56], [58]. Ve stejném časopise lze dohledat informaci o záručních nákladech na jeden prodaný vůz [57]. Tyto náklady se v letech 2005 až 2007 pohybovaly přibližně v rozpětích \$ 270–440 (u japonských výrobců) a \$ 490–580 (u amerických výrobců). Je nezbytné podotknout, že uvedené hodnoty se týkají celé produkce, tj. vozidel všech kategorií, včetně vozidel užitkových a nákladních. Dále autor předpokládal prodejní cenu uvažovaného osobního vozu nižší střední třídy na úrovni 400 tis. Kč a záruční dobu $(t_0, u_0) = (3 \text{ roky}, 100\,000 \text{ km})$.

S využitím uvedených informací byly jednotkové záruční náklady uvažovaného osobního vozu nižší střední třídy stanoveny takto:

$$\bar{c} = 0,12 \text{ Kč/km} \quad (5.24)$$

Vzhledem k uvedenému a s využitím vztahu (5.23) lze střední záruční náklady pro uvažovaný osobní vůz nižší střední třídy predikovat následovně:

$$\bar{C} = \bar{c}\bar{u}_w = 0,12 \cdot 69522 = 8343 \text{ Kč} \quad (5.25)$$

Na výslednou hodnotu je nezbytné nahlížet s obezřetností, protože je založena na expertním odhadu jednotkových záručních nákladů.

5.4.2 Analýza vlivu změn parametrů dvourozměrné záruky na záruční náklady

Informace získané při predikci okamžiku ukončení záruční doby (viz kapitola 5.3) lze využít také k analýze vlivu změn parametrů dvourozměrné záruky na záruční náklady.

Nejprve je třeba predikovat střední záruční náklady celého systému pro různé parametry záruky a tudíž pro různé okamžiky ukončení záruční doby predikované podle postupu uvedeného v kapitole 5.3.1. Střední záruční náklady pro celý systém lze predikovat na základě jedné ze dvou variant uvedených v kapitole 5.4.1, tj. buď s využitím postupu predikce záručních nákladů pro složité systémy navrženého v kapitole 3, nebo s využitím informací o jednotkových záručních nákladech \bar{c} pro celý systém.

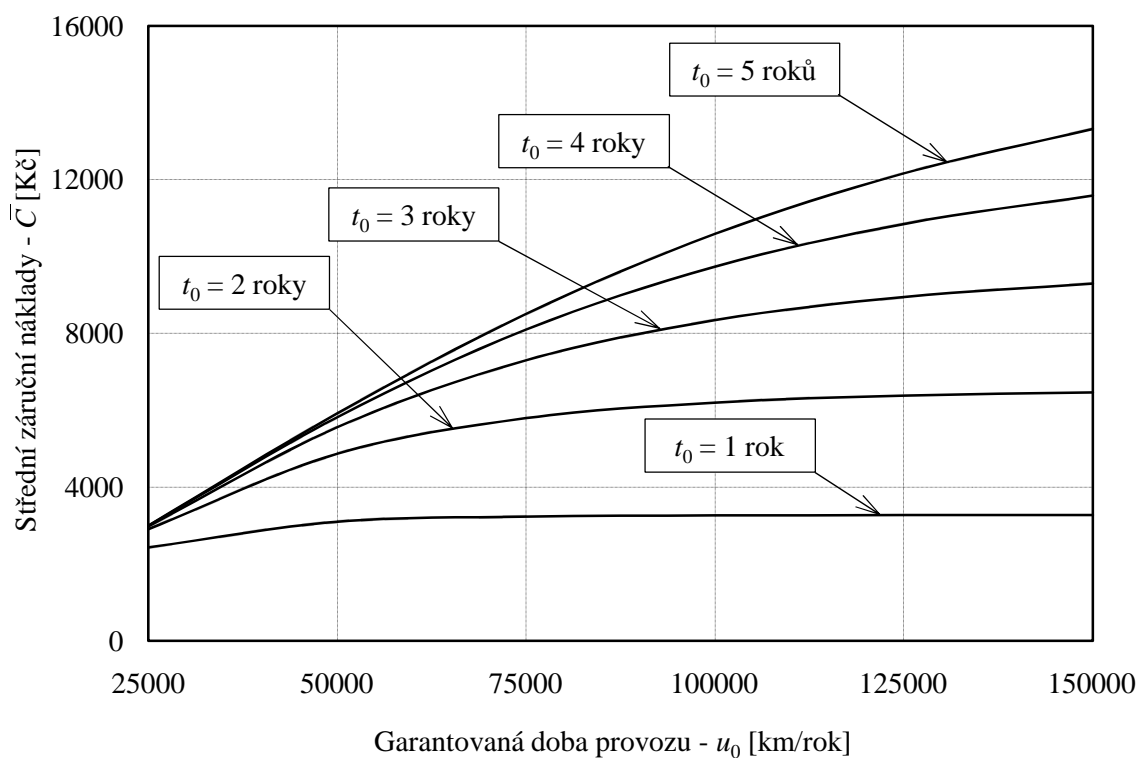
Poté je vhodné výsledky popsanych predikcí zaznamenat do přehledných grafů, které umožní postihnout vliv změn parametrů dvourozměrné záruky na střední záruční náklady.

Uvedený postup byl aplikován na příkladu popsaném v kapitole 5.3.2. Střední záruční náklady pro uvažovaný osobní vůz nižší střední třídy byly pro jednotlivé parametry dvourozměrné záruky predikovány s využitím informací o jednotkových záručních nákladech \bar{c} (viz vztahy (5.23) a (5.24)). Výsledky jednotlivých predikcí byly zaznamenány do grafů.

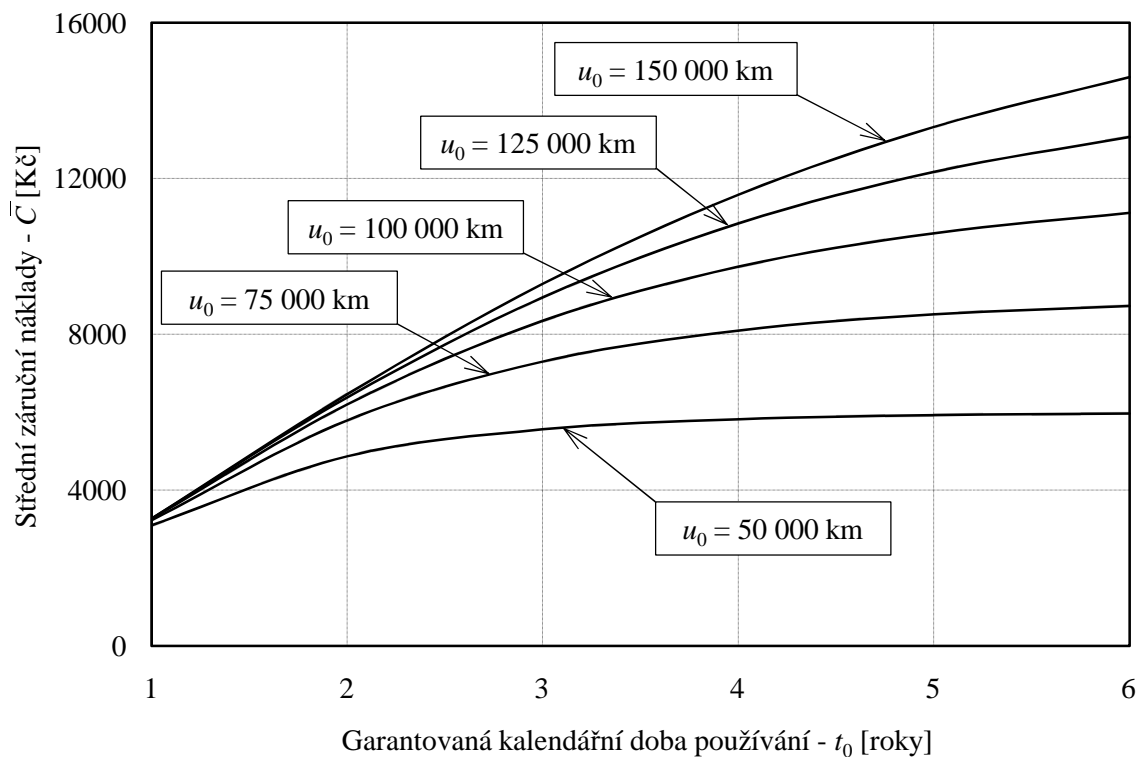
Obr. 5-7 ukazuje závislost středních záručních nákladů na garantované době provozu u_0 pro různé hodnoty garantované kalendářní doby používání t_0 . Z obrázku je zřejmé, že se střední záruční náklady s růstem hodnoty t_0 zvyšují vždy jen do určité úrovně, která se dále mění jen minimálně.

Obr. 5-8 ukazuje závislost středních záručních nákladů na garantované kalendářní době používání t_0 pro různé hodnoty garantované doby provozu u_0 . Obdobně jako u předchozího obrázku i zde je zřejmé, že se střední záruční náklady s růstem hodnoty u_0 zvyšují vždy jen do určité úrovně, která se dále mění jen v minimálním rozsahu.

S využitím prezentované analýzy a jejích výstupů ve formě grafů uvedených na Obr. 5-7 a Obr. 5-8 lze jednoduše vyhodnotit vliv každé změny parametrů dvourozměrné záruky na výši středních záručních nákladů



Obr. 5-7: Závislost středních záručních nákladů na garantované době provozu



Obr. 5-8: Závislost středních záručních nákladů na garantované kalendářní době používání

5.4.3 Návrh parametrů dvourozměrné záruky při daných záručních nákladech

Třetí možností využití informací získaných při predikci okamžiku ukončení záruční doby (viz kapitola 5.3) je návrh parametrů dvourozměrné záruky při pevně stanovené výši záručních nákladů.

Dále popsáný postup vychází z předpokladu, že je stanovena maximální výše záručních nákladů pro celý systém C_{max} a že je k dispozici informace o jednotkových záručních nákladech \bar{c} pro celý systém.

Vztah (5.23) lze pro potřeby řešení problému upravit do následující podoby:

$$C_{max} = \bar{c}\bar{u}_w \quad (5.26)$$

V uvedeném případě jsou hodnoty C_{max} a \bar{c} známy. Naopak hodnota střední doby provozu produktu v záruce \bar{u}_w je neznámou, která je mimo jiné ovlivňována volbou parametrů dvourozměrné záruky t_0 a u_0 .

Dosazením ze vztahu (5.14) lze vztah (5.26) upravit do následujícího tvaru:

$$C_{max} = \bar{c}t_0 \left(\int_0^{y_0} yf(y)dy + y_0 \int_{y_0}^{\infty} f(y)dy \right) \quad (5.27)$$

V tomto vztahu jsou hodnoty C_{max} , \bar{c} a $f(y)$ známy a hodnoty t_0 a u_0 (nebo y_0) musí být zvoleny.

Vztah (5.27) může být upraven do následujícího tvaru:

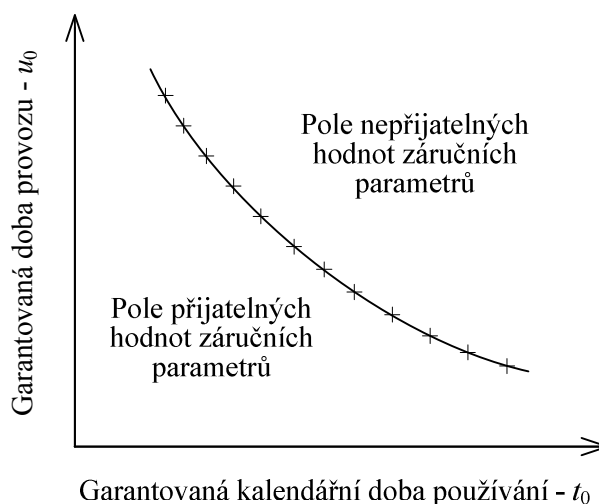
$$t_0 = \frac{C_{max}}{\bar{c} \left(\int_0^{y_0} yf(y)dy + y_0 \int_{y_0}^{\infty} f(y)dy \right)} \quad (5.28)$$

Úpravou vztahu (5.3) a dosazením vztahu (5.28) lze získat následující vztah:

$$u_0 = y_0 \frac{C_{max}}{\bar{c} \left(\int_0^{y_0} yf(y)dy + y_0 \int_{y_0}^{\infty} f(y)dy \right)} \quad (5.29)$$

Veličiny t_0 a u_0 vypočtené podle vztahů (5.28) a (5.29) udávají hodnoty parametrů dvourozměrné záruky při maximální akceptovatelné výši záručních nákladů.

Dále je vhodné vypočítat hodnotu t_0 dle vztahu (5.28) a hodnotu u_0 dle vztahu (5.29) pro přiměřený počet hodnot y_0 z intervalu $(0; \infty)$ (prakticky je vhodné minimální i maximální hodnotu y_0 zvolit v reálně možné výši). Takto získané hodnoty je poté vhodné vynést do grafu a proložit křivkou. Příklad takového grafu je uveden na Obr. 5-9. Křivka v grafu rozděluje plochu na dvě části: pole přijatelných hodnot záručních parametrů t_0 , u_0 a pole nepřijatelných hodnot záručních parametrů. Body ležící na křivce určují kombinace záručních parametrů t_0 a u_0 , při kterých budou záruční náklady na maximální akceptovatelné výši.



Obr. 5-9: Závislost záručních parametrů pro stanovenou výši záručních nákladů

Uvedený postup byl aplikován na příkladu osobního vozu nižší střední třídy popsaném v kapitole 5.3.2. Jednotkové záruční náklady byly, stejně jako v kapitole 5.4.1, stanoveny expertním odhadem:

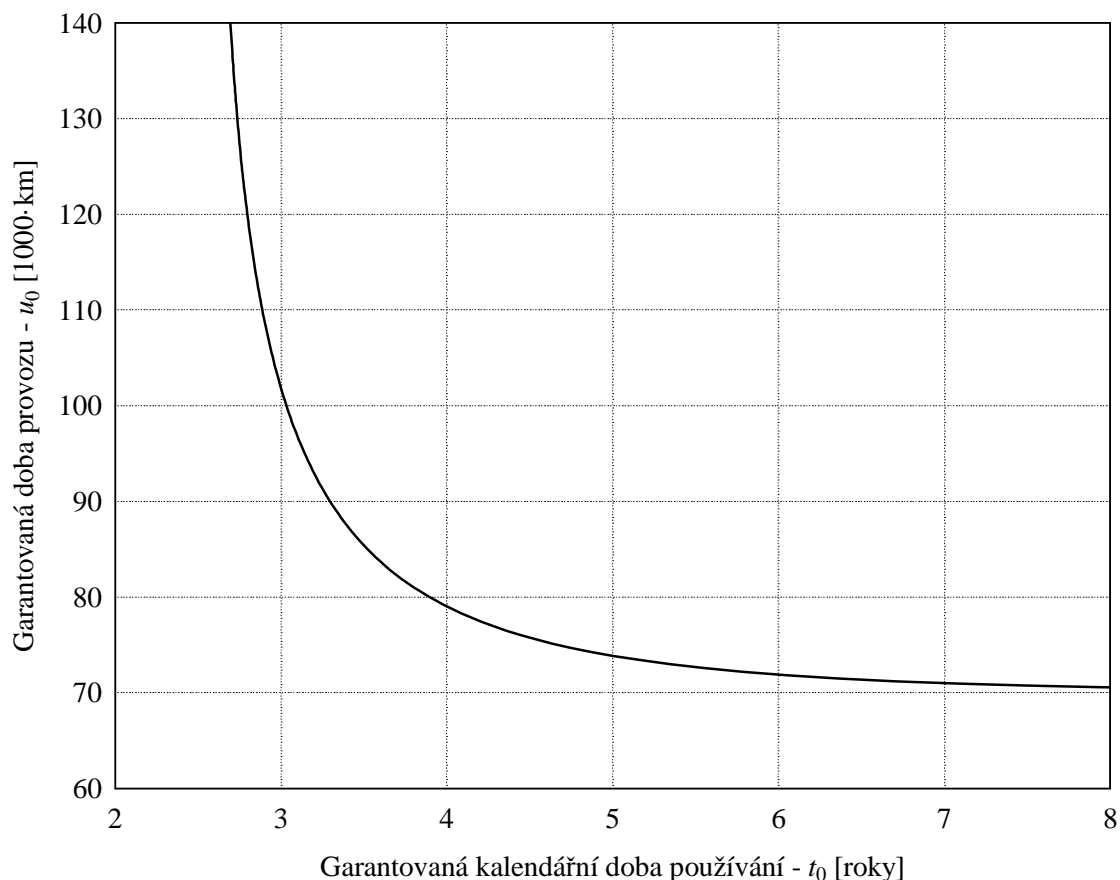
$$\bar{c} = 0,12 \text{ Kč/km} \quad (5.30)$$

Při stanovení maximální výše záručních nákladů pro jeden uvažovaný osobní vůz nižší střední třídy autor vycházel z předpokladů použitých při expertním odhadu jednotkových záručních nákladů (podrobnosti viz kapitola 5.4.1). Maximální výše záručních nákladů pro jeden uvažovaný vůz byla poté stanovena expertním odhadem:

$$C_{\max} = 8400 \text{ Kč} \quad (5.31)$$

Při znalosti obou uvedených hodnot a výsledků vyhodnocení průzkumu chování zákazníků (viz kapitola 5.3.2) lze s využitím vztahů (5.28) a (5.29) vypočítat hodnoty t_0 a u_0 pro vhodně zvolené hodnoty y_0 . Vypočtené hodnoty je vhodné vynést do grafu a proložit křivkou. Tento graf a křivka jsou znázorněny na Obr. 5-10. Křivka proložená jednotlivými body určuje kombinace hodnot záručních parametrů t_0 a u_0 , při kterých budou záruční náklady na maximální akceptovatelné výši. Oblast nad křivkou je polem nepřijatelných hodnot záručních parametrů a oblast pod křivkou je polem přijatelných hodnot záručních parametrů.

S využitím prezentovaného postupu a uvedeného výstupu ve formě grafu na Obr. 5-10 lze relativně snadno, při znalosti vstupních hodnot, navrhnout adekvátní kombinaci záručních parametrů s ohledem na maximální výši záručních nákladů.



Obr. 5-10: Závislost záručních parametrů pro stanovenou výši záručních nákladů

5.5 Dílčí závěr

Postup navržený v předchozích kapitolách ukazuje, že i v případě nedostatku informací o předchozí zkušenosti s produktem nebo nemožnosti jejich využití je možno predikovat předpokládaný okamžik ukončení záruční doby. Toho je docíleno identifikací chování zákazníků prostřednictvím metody dotazování a následným statistickým zpracováním získaných dat.

Relativní snadnost a přehlednost praktického použití navrženého postupu dokládá jeho aplikace na příkladu osobního vozu nižší střední třídy vyráběného v České republice. Získané výstupy jsou však do značné míry ovlivněny „kvalitou“ vstupních dat získaných průzkumem chování zákazníků. Je také zřejmé, že při praktickém použití navrženého postupu se nelze obejít bez moderních softwarových produktů z oblasti statistiky a matematiky.

V kapitole jsou také uvedeny konkrétní postupy využití získaných informací při řešení nejčastějších problémů souvisejících s poskytováním dvourozměrných záruk za jakost a záručními náklady. Postupy jsou doplněny příklady praktické aplikace, které dokládají relativní snadnost při získávání důležitých vstupů potřebných pro racionální rozhodování při poskytování dvourozměrných záruk za jakost.

6 Predikce časového vývoje záručních nákladů

6.1 Úvod

K predikcím záručních nákladů pro celý produkt popsaným v předchozích kapitolách je vhodné přiřadit také časové hledisko. Přesněji řečeno je vhodné predikovat vývoj záručních nákladů a souvisejících ukazatelů v čase. Celková výše záručních nákladů v čase není ovlivněna pouze dosud uváděnými faktory (podmínky záruky, úroveň spolehlivosti a chování zákazníků), ale navíc i množstvím produktů, které jsou kryty zárukou.

Při použití dvourozměrné záruky za jakost je nezbytné časový průběh záruční doby predikovat, sledovat a vyhodnocovat buď vztažený ke kalendářní době používání, nebo vztažený k době provozu. Je zřejmé, že vhodnější je predikovat průběh záruční doby, záručních nákladů a souvisejících ukazatelů vztažený ke kalendářní době používání. Kalendářní doba používání roste, na rozdíl od doby provozu, rovnoměrně.

V dalších kapitolách je nejprve popsán teoretický model časového vývoje záručních nákladů a souvisejících ukazatelů a poté je navržen způsob predikce časového vývoje.

6.2 Teoretický model časového vývoje záručních nákladů

Obecně lze tvrdit, že záruční náklady jsou ovlivněny zejména počtem reklamací (poruch) v záruční době a náklady souvisejícími s vyřízením jednotlivých reklamací. Z hlediska časového vývoje má významnější vliv počet reklamací v záruční době, který je ovlivněn množstvím produktů krytých zárukou a úrovní jejich bezporuchovosti. Náklady související s vyřízením jednotlivých reklamací obvykle, na rozdíl od počtu reklamací, nejsou funkcí času. Množství produktů, které jsou kryty zárukou a u kterých je nezbytné řešit případné reklamace, závisí především na celkovém objemu produkce (množství produkováných produktů) a jeho rozložení v čase.

Pro potřeby dalšího řešení, bude množství produkováných (dodávaných) produktů charakterizováno tzv. intenzitou produkce, kterou lze definovat následovně:

$$p(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E[n(t + \Delta t) - n(t)]}{\Delta t} \quad (6.1)$$

Tuto funkci je nutné určit s ohledem na obchodní plány a kapacitní možnosti dodavatele. Způsoby určování intenzity produkce nejsou předmětem této práce a lze je nalézt v příslušné odborné literatuře z oblasti managementu a marketingu.

Při znalosti intenzity produkce lze vypočítat počet produktů dodaných během doby $\langle 0; t \rangle$ s využitím následujícího vztahu:

$$n(t) = \int_0^t p(t) dt \quad (6.2)$$

Analogicky lze vypočítat počet produktů dodaných během libovolně zvoleného časového intervalu $\langle t_2; t_3 \rangle$:

$$n(t_2, t_3) = \int_{t_2}^{t_3} p(t) dt \quad (6.3)$$

Úroveň bezporuchovosti produktu může být charakterizována nejrůznějšími způsoby (viz kapitola 3.4). Pro potřeby dalšího řešení je použita intenzita poruch produktu, která je definována následovně [2], [23]:

$$\lambda(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E[N(t + \Delta t) - N(t)]}{\Delta t} \quad (6.4)$$

V rámci zjednodušení bude předpokládáno, že se náhodná proměnná (doba mezi poruchami) řídí exponenciálním rozdělením, tj. intenzita poruch je v čase konstantní a bude označena $\lambda(t) = \lambda$.

V uvedeném případě a za předpokladu jednorozměrné plné neobnovované záruky lze s využitím vztahu (2.3) nebo (2.4) vyčíslit střední počet poruch během doby $\langle 0; t \rangle$ následovně:

$$\bar{N}(t) = \lambda t \quad (6.5)$$

Analogickým způsobem lze také určit počet poruch u skupiny produktů. Nezbytné je však určení kumulativní kalendářní doby používání všech produktů. Tuto kumulativní dobu je možné určit s využitím následujícího vztahu:

$$T(t) = \int_0^t n(t) dt \quad (6.6)$$

Kumulativní počet poruch u všech produktů dodaných za dobu t lze určit ze vztahu:

$$N_c(t) = \lambda T(t) = \lambda \int_0^t n(t) dt = \lambda \int_0^t \left[\int_0^t p(t) dt \right] dt \quad (6.7)$$

Pro další řešení je také vhodné zavést tzv. parametr proudu poruch všech dodaných produktů, který je dán vztahem:

$$z_c(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E[N_c(t + \Delta t) - N_c(t)]}{\Delta t} = \frac{dN_c(t)}{dt} \quad (6.8)$$

Počet poruch u všech produktů dodaných za dobu t potom lze vyjádřit vztahem:

$$N_c(t) = \int_0^t z_c(t) dt \quad (6.9)$$

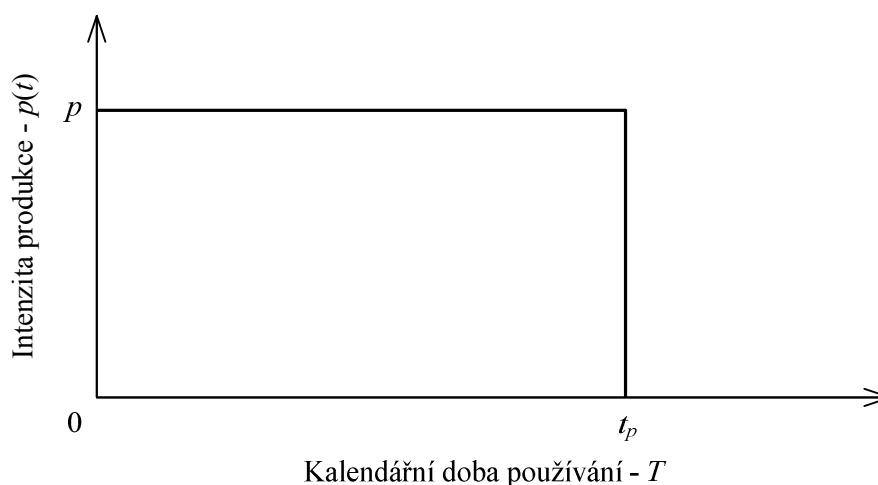
Z porovnání vztahů (6.7) a (6.8) je zřejmé, že parametr proudu poruch všech dodaných produktů lze také vyjádřit vztahem:

$$z_c(t) = \lambda \int_0^t p(t) dt \quad (6.10)$$

V případě modelování časového průběhu záručních nákladů a souvisejících ukazatelů je nezbytné dosud popsany model omezit pouze na produkty kryté zárukou. Je také nezbytné vzít v úvahu fakt, že po určité době dojde k ukončení produkce (dodávek) produktů. Další řešení proto vychází z následujících zjednodušujících předpokladů:

- intenzita produkce je po celou dobu produkce konstantní a bude označena $p(t) = p$ (viz Obr. 6-1);
- je použita jednorozměrná plná neobnovovaná záruka, přičemž produkt je kryt zárukou po dobu t_0 ;
- produkce produktu probíhá pod dobu $t_p > t_0$ (po uplynutí doby t_p tedy platí, že $p = 0$);
- intenzita poruch je konstantní a bude označena $\lambda(t) = \lambda$.

Uvedená zjednodušení značně usnadňují a zpřehledňují další popis.

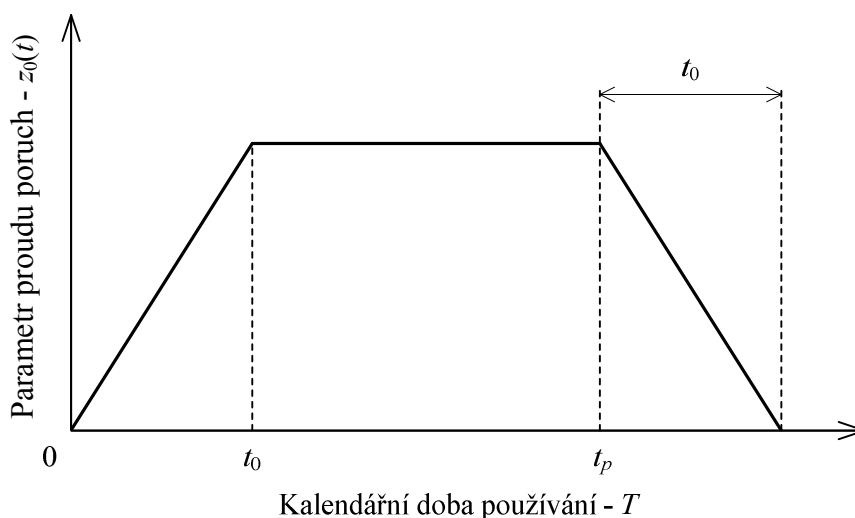


Obr. 6-1: Konstantní průběh intenzity produkce

Za uvedených předpokladů lze parametr proudu poruch produktů, které jsou kryty zárukou, vyjádřit pomocí následujícího vztahu:

$$z_0(t) = \begin{cases} \lambda p t & \text{pro } 0 \leq t \leq t_0 \\ \lambda p t_0 & \text{pro } t_0 < t \leq t_p \\ \lambda p (t_p + t_0 - t) & \text{pro } t_p < t \leq (t_p + t_0) \end{cases} \quad (6.11)$$

Grafické znázornění takto definovaného parametru proudu poruch je uvedeno na Obr. 6-2.



Obr. 6-2: Parametr proudu poruch jako funkce času

S využitím vztahů (6.9) a (6.11) lze vyjádřit kumulativní počet poruch, které se vyskytly u produktů krytých zárukou, pomocí následujícího vztahu:

$$N_0(t) = \begin{cases} \lambda p \frac{1}{2} t^2 & \text{pro } 0 \leq t \leq t_0 \\ \lambda p \left(t t_0 - \frac{1}{2} t_0^2 \right) & \text{pro } t_0 < t \leq t_p \\ \lambda p \left(t_p t + t_0 t - \frac{t^2 + t_p^2 + t_0^2}{2} \right) & \text{pro } t_p < t \leq (t_p + t_0) \end{cases} \quad (6.12)$$

Grafické znázornění takto definovaného kumulativního počtu poruch je uvedeno na Obr. 6-3.

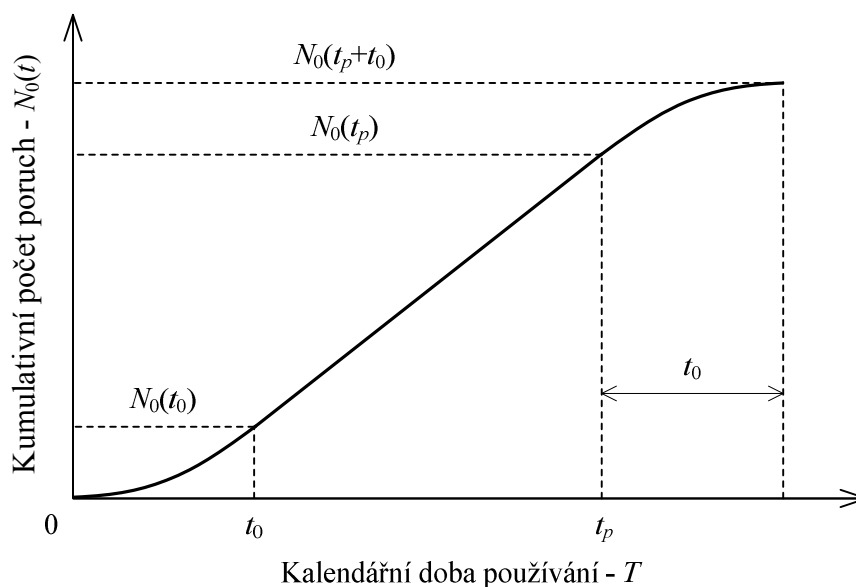
Za uvedených předpokladů lze náklady související s odstraněním jedné poruchy (vyřízení jedné reklamace) popsat střední hodnotou nákladů souvisejících s odstraněním jedné poruchy (\bar{C}_R). Podrobnější informace jsou uvedeny v kapitole 3.5.2.

Poté lze časový vývoj záručních nákladů charakterizovat s využitím kumulativních záručních nákladů:

$$C_0(t) = \bar{C}_R N_0(t) \quad (6.13)$$

K popisu lze také využít okamžitou intenzitu záručních nákladů, která charakterizuje, s jakou intenzitou (rychlostí) jsou finanční prostředky na vyřizování reklamací čerpány:

$$c_0(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{E[C_0(t + \Delta t) - C_0(t)]}{\Delta t} = \bar{C}_R z_0(t) \quad (6.14)$$



Obr. 6-3: Kumulativní počet poruch jako funkce času

Časový průběh funkcí vyjadřujících kumulativní záruční náklady (6.13) a okamžitou intenzitu záručních nákladů (6.14) je analogický s průběhem kumulativního počtu poruch (6.12) a parametru proudu poruch (6.11) (viz Obr. 6-2 a Obr. 6-3).

Popsaný teoretický model časového vývoje záručních nákladů je vhodný pro názorné objasnění problematiky časového vývoje v oblasti záručních nákladů. Avšak prakticky je obtížně využitelný především proto, že intenzita poruch produktu $\lambda(t)$ a intenzita produkce $p(t)$ často nebývají konstantní. Intenzita produkce obvykle prochází jednotlivými fázemi, které jsou v souladu s fázemi životního cyklu produktu (z marketingového hlediska). Uvedené fáze jsou definovány např. v [17] a odpovídá jim příslušná fáze produkce. Jednotlivé fáze jsou následující: zavádění (zahájení produkce), růst (nárůst produkce), zralost (přibližně konstantní produkce) a úpadek (pokles produkce až do jejího úplného ukončení). V odborné literatuře zejména z oblasti managementu a marketingu lze nalézt podrobnější popis (např. viz [17]).

Z hlediska praktického využití také není příliš vhodné pracovat se spojitými funkcemi, ale vhodnější je záruční dobu rozdělit na určité diskrétní části, jak je popsáno v následující kapitole.

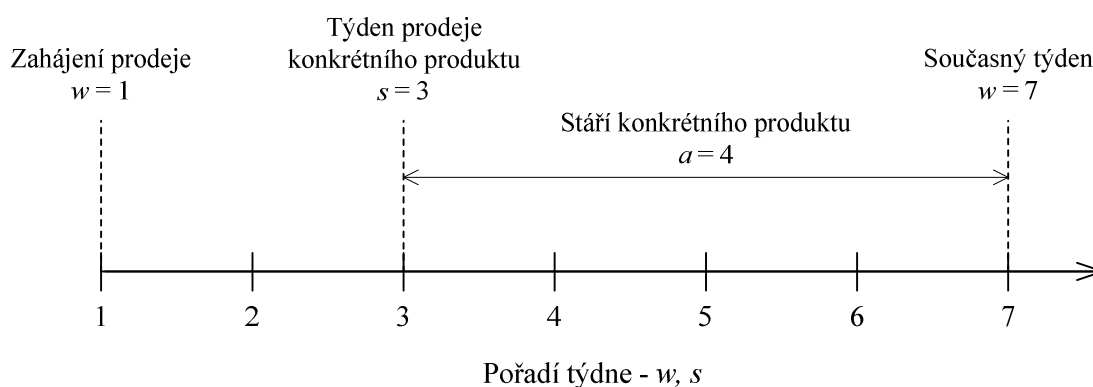
6.3 Predikce časového vývoje záručních nákladů a souvisejících ukazatelů

Pro potřeby praktického použití je vhodnější kalendářní dobu rozdělit na jednotlivá časová období, kterými mohou být měsíce, týdny nebo dny. Volba délky období závisí na konkrétní situaci, zejména na typu a množství produkce. Pro potřeby dalšího řešení byl zvolen týden. Byla zavedena veličina w , která vyjadřuje dobu od zahájení prodeje produktů počítanou v týdnech. Veličina w nabývá hodnot 1, 2 atd., přičemž v týdnu $w = 1$ byl zahájen prodej produktů (byl prodán první produkt).

Byla také zavedena veličina a , která vyjadřuje stáří konkrétního produktu (kalendářní dobu uplynulou od prodeje produktu nebo také kalendářní dobu používání počítanou v týdnech). Veličina a nabývá hodnot 0, 1 atd., přičemž v týdnu, ve kterém byl produkt prodán, je hodnota $a = 0$. S využitím uvedených veličin lze stanovit pořadí týdne, ve kterém byl konkrétní produkt prodán:

$$s = w - a \quad (6.15)$$

Schematicky je vztah uvedených veličin znázorněn na Obr. 6-4.



Obr. 6-4: Schematické znázornění počítání kalendářní doby

Při uvážení předchozího lze množství produkce charakterizovat prostřednictvím počtu produktů n_s , které byly prodány v týdnu s . Tato veličina by měla být pro jednotlivé týdny s „předpovězena“, nejlépe na základě obchodních plánů a kapacitních možností dodavatele.

6.3.1 Predikce časového vývoje počtu reklamací v záruční době

S ohledem na výše uvedené rozdělení kalendářní doby na týdny, je nezbytné predikovat vývoj počtu reklamací (poruch) v jednotlivých týdnech.

V případě použití postupu predikce záručních nákladů navrženého v předcházejících kapitolách 3 a 5 (použití dvourozměrné záruky) je třeba zohlednit následující fakta. Predikce časového vývoje počtu reklamací (poruch) uvedená v této kapitole je vztažena ke kalendářní době používání. U poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu, je nezbytné, vztáhnout jejich vznik k době provozu. Toho lze docela snadno dosáhnout předpokladem lineárního průběhu záruční doby (viz kapitola 5.2.1). Jinak řečeno, využije se informace o střední hodnotě intenzity používání \bar{y} (viz kapitola 5.3.1). S využitím uvedeného lze snadno stanovit střední dobu provozu, která bude realizována za jeden týden w , a s touto hodnotou lze dále pracovat.

S využitím uvedeného je třeba predikovat střední počet reklamací (poruch), které se vyskytnou v týdnu w u produktu prodaného v týdnu s (\bar{N}_{ws}). Vztahy a postupy uvedené v kapitolách 3 a 5 jsou platné, pokud náhodná veličina (kalendářní doba uplynulá od prodeje) má spojitý charakter, na což je třeba brát ohled při predikci. Pokud v tomto případě predikujeme střední počet reklamací (poruch), které se vyskytnou v týdnu w u produktu

prodaného v týdnu s , jedná se o rozdíl mezi predikovaným počtem na začátku a na konci týdne w .

Vzhledem k podstatě záruky za jakost, poruchy vzniklé po uplynutí záruční doby w_0 nejsou brány v úvahu, a pro $w - s > w_0$ platí $\bar{N}_{ws} = 0$.

Na základě dosud uvedeného a znalosti (předpovědi) množství produkce lze predikovat střední počet reklamací (poruch), které se vyskytnou v týdnu w u všech produktů prodaných v týdnu s :

$$\bar{N}_{Cws} = n_s \bar{N}_{ws} \quad (6.16)$$

Následně lze predikovat střední počet reklamací všech produktů, které budou prodány od zahájení prodeje až do týdne w a které se vyskytnou v týdnu w :

$$\bar{N}_{w*} = \sum_{s=1}^{s=w} \bar{N}_{Cws} \quad (6.17)$$

Lze také predikovat střední počet reklamací všech produktů, které budou prodány v týdnu s a které se vyskytnou od týdne prodeje s až do týdne w :

$$\bar{N}_{*s} = \sum_{w=s}^{w=s+a} \bar{N}_{Cws} \quad (6.18)$$

6.3.2 Predikce časového vývoje nákladů souvisejících s vyřízením reklamací

V dalším kroku je třeba provést predikci časového vývoje nákladů na vyřízení jednotlivých reklamací, tj. nákladů souvisejících s odstraněním jednotlivých poruch, které se u produktu vyskytnou v záruční době. Uvedené náklady lze rozdělit do následujících skupin:

- náklady na náhradní díly a materiály;
- náklady na pracovní kapacitu;
- další náklady.

Ve většině případů jsou uvedené náklady náhodnými proměnnými a nelze tudíž určit jejich přesné hodnoty. Proto autor dále pracuje se středními hodnotami nákladů, resp. středními náklady. Podrobněji se predikcí nákladů souvisejících s vyřizováním reklamací (odstraněním poruch prvků) zabývá kapitola 3.5.2.

Z hlediska časového vývoje jsou sice uvedené náklady náhodnou proměnnou, ale jejich konkrétní hodnota není na rozdíl od počtu reklamací funkcí času.

Na základě uvedeného proto postačuje predikovat střední náklady související s odstraněním jedné poruchy (vyřízením jedné reklamace). Postup predikce je popsán v kapitole 3.5.2 a výpočtový vztah (3.29) je prezentován v kapitole 3.7. Zmíněný vztah má následující tvar:

$$\bar{C}_R = \frac{1}{m+k} \left(\sum_{i=1}^m \bar{R}_i + \sum_{j=1}^k \bar{R}_j \right) \quad (6.19)$$

6.3.3 Predikce časového vývoje záručních nákladů

Při znalosti časového vývoje počtu reklamací a nákladů souvisejících s vyřízením reklamací lze predikovat časový vývoj záručních nákladů.

Již bylo zmíněno v kapitole 2.5, že v oblasti dvourozměrných záruk je používána převážně dvourozměrná neobnovovaná plná záruka. Obdobně jako v předchozích částech práce jsou i dále uvedené vztahy zaměřeny na tento typ záruky.

Obecně lze střední záruční náklady při použití dvourozměrné neobnovované plné záruky predikovat následovně:

$$\bar{C} = \bar{C}_R \bar{N} \quad (6.20)$$

Z uvedeného vztahu (6.20) je zřejmé, že hodnota záručních nákladů závisí na nákladech souvisejících s vyřízením reklamace a počtem reklamací (poruch). Počet reklamací je ovlivněn zejména bezporuchovostí produktu a také intenzitou produkce (počtem produktů krytých zárukou).

S využitím vztahu (6.20) lze střední hodnotu záručních nákladů, které bude třeba vynaložit v týdnu w a které budou způsobeny produkty prodanými v týdnu s , predikovat s využitím následujícího vztahu:

$$\bar{C}_{ws} = \bar{C}_R \bar{N}_{Cws} \quad (6.21)$$

Lze také provést predikci sumy záručních nákladů, která bude muset být vynaložena v týdnu w na vyřízení reklamací všech produktů, které budou prodány od zahájení prodeje až do týdne w :

$$\bar{C}_{w*} = \sum_{s=1}^{s=w} \bar{C}_{ws} \quad (6.22)$$

Analogicky lze provést predikci sumy záručních nákladů, která bude muset být vynaložena do týdne w na vyřízení reklamací všech produktů prodaných v týdnu s :

$$\bar{C}_{*s} = \sum_{w=s}^{w=s+a} \bar{C}_{ws} \quad (6.23)$$

Je třeba zmínit, že dosud uvedené vztahy jsou určeny pro predikci před započítáním dodávek produktů, proto je potřeba předem předpovědět množství produkce v jednotlivých týdnech.

Výsledky predikcí pro jednotlivé týdny je vhodné přehledně zaznamenávat. Možnou formou záznamu je tabulka, jejíž návrh je uveden na Obr. 6-5. Formát tabulky je založen na tzv. Nevada formátu [62]. Pro vedení záznamů je vhodné využít některý z běžně dostupných kancelářských softwaru.

V každém hodnoceném týdnu je třeba zpřesňovat predikce záručních nákladů výpočtem vycházejícím ze skutečného počtu produktů n_s prodaných v předcházejícím týdnu.

Do tabulky obdobně jako na Obr. 6-5 je vhodné také zaznamenávat predikce středního počtu poruch všech produktů prodaných v týdnu s , které se vyskytnou v týdnu w (\bar{N}_{Cws}).

Týden prodeje produktu	Počet prodaných produktů	Týden			
s	n_s	w			
		1	2	3	...
1	n_1	\bar{C}_{11}	\bar{C}_{21}	\bar{C}_{31}	...
2	n_2	-	\bar{C}_{22}	\bar{C}_{32}	...
3	n_3	-	-	\bar{C}_{33}	...
...	...	-	-	-	...

Obr. 6-5: Tabulka predikovaného vývoje záručních nákladů

6.4 Dílčí závěr

Prezentovaný způsob predikce časového vývoje záručních nákladů vhodně doplňuje a rozšiřuje navržený způsob predikce záručních nákladů u složitých produktů o časové hledisko. Predikce časového vývoje je nezbytná, aby dodavatelé získali informace o budoucím vývoji záručních nákladů a souvisejících ukazatelů. Predikce je také základem pro pozdější průběžné sledování a vyhodnocování záručních nákladů, které je navrženo v další kapitole. Je vhodné zopakovat důležitou skutečnost, že dodavatelé musí počítat s vynakládáním záručních nákladů i po ukončení produkce, protože „poslednímu“ dodanému produktu začne záruční doba běžet právě v okamžiku ukončení produkce.

7 Průběžné sledování a vyhodnocování záručních nákladů a souvisejících ukazatelů

7.1 Úvod

V návaznosti na predikci časového vývoje záručních nákladů by měli dodavatelé po zahájení dodávek produktů průběžně sledovat a vyhodnocovat skutečný vývoj záručních nákladů a souvisejících ukazatelů v čase. Proto je nezbytné zavést systém průběžného sledování a vyhodnocování skutečného vývoje. V následujících kapitolách je popsán navržený způsob realizace průběžného sledování a vyhodnocování záručních nákladů a souvisejících ukazatelů, který lze rozdělit do dvou navazujících částí:

- sběr dat;
- vyhodnocení sebraných dat.

7.2 Sběr dat

Pro potřeby sledování a vyhodnocování časového vývoje záručních nákladů a souvisejících ukazatelů, je třeba zavést systém sběru a záznamu patřičných dat, která lze získat z reklamačních řízení. Sběr dat je prvním a současně nejdůležitějším krokem při vyhodnocování záručních nákladů. Systém sběru dat má zajistit, aby pro každou reklamací byly zjištěny a zaznamenány přinejmenším následující informace:

- datum prodeje produktu – týden s , ve kterém byl produkt prodán;
- datum obdržení reklamace produktu – týden w , ve kterém byl produkt reklamován (ve kterém došlo k poruše);
- rozpis nákladů, které byly vynaloženy na vyřízení l -té reklamace v týdnu w u produktu prodaného v týdnu s – M_l , P_l a D_l .

Sběr a záznam dat lze provádět nejrůznějšími způsoby. Jednoduchou, ale pracnou variantou je ruční záznam do papírové formy s následným ručním přepisem do formy elektronické. Další možností je záznam dat přímo v elektronické podobě, k čemuž lze použít dostupný kancelářský software. Nejeftektivnější způsob záznamu je vkládání do aplikace, která je součástí informačního systému organizace. Podrobnější rozbor způsobu sběru a záznamu dat není předmětem této práce.

Uvedená data získaná pro každou reklamací jsou nezbytná pro dále popsané vyhodnocování časového vývoje záručních nákladů a souvisejících ukazatelů. Je třeba zdůraznit, že data je třeba sbírat průběžně.

7.3 Skutečný časový vývoj záručních nákladů a souvisejících ukazatelů

S použitím dat získaných z jednotlivých reklamačních řízení lze stanovit skutečné hodnoty záručních nákladů a souvisejících ukazatelů. Skutečný stav je vhodné vyhodnocovat v oblasti záručních nákladů, počtu reklamací a nákladů vynaložených na vyřízení jednotlivých reklamací. Dále navržené vyhodnocování je třeba provádět průběžně, tj. vždy co nejdříve po konci sledovaného týdne w .

V první řadě je třeba určit skutečný počet reklamací, které se vyskytly v týdnu w u produktů prodaných v týdnu s (N_{Cws}).

Z dlouhodobějšího hlediska je vhodné určit skutečný počet reklamací všech produktů, které byly prodány od zahájení prodeje až do týdne w a které se vyskytly v týdnu w :

$$N_{w*} = \sum_{s=1}^{s=w} N_{Cws} \quad (7.1)$$

Lze také určit skutečný počet reklamací všech produktů, které byly prodány v týdnu s a které se vyskytly od týdne prodeje s až do týdne w :

$$N_{*s} = \sum_{w=s}^{w=s+a} N_{Cws} \quad (7.2)$$

Dále je třeba určit skutečné náklady související s vyřízením l -té reklamace (která se vyskytla v týdnu w u produktu prodaného v týdnu s):

$$R_l = M_l + P_l + D_l \quad (7.3)$$

S využitím předchozího vztahu lze určit střední hodnotu skutečných nákladů vynaložených na vyřízení jedné reklamace v týdnu w u produktů prodaných v týdnu s :

$$C_{R,ws} = \frac{\sum_{l=1}^{N_{Cws}} R_l}{N_{Cws}} \quad (7.4)$$

Finálně je třeba určit skutečnou hodnotu záručních nákladů, které byly vynaloženy v týdnu w a které byly způsobeny produkty prodanými v týdnu s :

$$C_{ws} = \sum_{l=1}^{N_{Cws}} R_l \quad (7.5)$$

Přičemž pro $N_{Cws} = 0$ platí, že $C_{ws} = 0$.

Z dlouhodobějšího hlediska je vhodné určit sumu záručních nákladů, která byla vynaložena v týdnu w na vyřízení reklamací všech dosud prodaných produktů:

$$C_{w*} = \sum_{s=1}^{s=w} C_{ws} \quad (7.6)$$

Analogicky lze určit sumu záručních nákladů, která byla vynaložena do týdne w na vyřízení reklamací všech produktů prodaných v týdnu s :

$$C_{*s} = \sum_{w=s}^{w=s+a} C_{ws} \quad (7.7)$$

S využitím dosud uvedených vztahů lze analogicky určovat hodnoty ukazatelů v libovolných intervalech (pro libovolné skupiny týdnů).

Získané skutečné hodnoty záručních nákladů C_{ws} je pro větší přehlednost vhodné průběžně zaznamenávat do příslušných polí tabulky uvedené na Obr. 7-1. Pro vedení záznamů je vhodné využít některý z běžně dostupných kancelářských softwarů.

Týden prodeje produktu	Počet prodaných produktů	Týden			
		w			
s	n_s	1	2	3	...
1	n_1	C_{11}	C_{21}	C_{31}	...
2	n_2	-	C_{22}	C_{32}	...
3	n_3	-	-	C_{33}	...
...	...	-	-	-	...

Obr. 7-1: Tabulka skutečného vývoje záručních nákladů

Do tabulky obdobné jako na Obr. 7-1 je vhodné také zaznamenávat skutečný počet reklamací (poruch) všech produktů prodaných v týdnu s , které se vyskytnou v týdnu w ($N_{C_{ws}}$), a střední hodnotu skutečných nákladů vynaložených na vyřízení jedné reklamace v týdnu w u produktů prodaných v týdnu s ($C_{R,ws}$).

Je zřejmé, že skutečný časový vývoj záručních nákladů a souvisejících ukazatelů se bude lišit od časového vývoje predikovaného v rámci kapitoly 6.3. Odlišnost predikce a skutečnosti může být v zásadě způsobena dvěma faktory. V první řadě je možné, že, vzorek sebraných dat z reklamačních řízení nedostatečně reprezentuje základní soubor. Tato situace je běžná v počátečních týdnech po zahájení prodeje produktů. Druhá a častější možnost je, že jeden z parametrů ovlivňujících záruční náklady (např. bezporuchovost produktu nebo jednotlivé nákladové položky) má ve skutečnosti jinou hodnotu než byla hodnota uvažovaná při predikci.

Navržené způsoby predikce vývoje a vyhodnocení skutečného vývoje umožňují průběžně porovnávat predikované a skutečné hodnoty ukazatelů. Návrh také umožňuje vyhodnocovat případné odchylky hodnot. Pro uvedené odchylky je vhodné stanovovat příslušné meze, při jejichž překročení budou přijata adekvátní opatření. Metody porovnávání predikovaných a skutečných hodnot, vyhodnocování odchylek a stanovování mezí jsou statistický a především ekonomický problém, značně ovlivněný mnoha faktory charakterizujícími konkrétní reálnou situaci. Řešení popsaného problému však není předmětem disertační práce a značně přesahuje její rámec.

7.4 Dílčí závěr

Navržený způsob realizace průběžného sledování a vyhodnocování záručních nákladů a souvisejících ukazatelů umožní dodavatelům průběžně získávat informace o skutečném stavu v oblasti záručních nákladů, včas identifikovat možné problémy a tím včas reagovat a přijímat vhodná opatření ke snížení nebo zamezení případných ztrát.

Praktická úspěšnost průběžného sledování a vyhodnocování je do značné míry závislá na úrovni systému sběru a záznamu patřičných dat z reklamačních řízení. Při praktické realizaci sledování a vyhodnocování je více než vhodné využít dostupné softwarové prostředky a případně vyhodnocování a sledování začlenit do informačního systému organizace.

8 Závěr

Hlavním cílem disertační práce byl návrh prakticky použitelných metod a postupů, které umožní dodavatelům získat informace nezbytné pro racionální rozhodování při poskytování jednorozměrných a zejména dvourozměrných záruk za jakost u složitých produktů již v počátečních etapách jejich životního cyklu. Tento hlavní cíl byl dále rozdělen na čtyři dílčí cíle. Lze konstatovat, že hlavní i dílčí cíle byly v disertační práci splněny.

Za hlavní výsledky a přínosy práce lze považovat:

- Zformulování prakticky použitelného postupu, který umožňuje predikovat záruční náklady u složitých produktů na základě informací o bezporuchovosti a udržitelnosti jednotlivých prvků produktu.
- Návrh postupu predikce okamžiku ukončení záruční doby při použití dvourozměrné záruky v situacích, kdy nejsou k dispozici dostatečné informace z reklamačních řízení.
- Návrh modelu časového vývoje záručních nákladů, na jehož základě lze predikovat vývoj záručních nákladů a souvisejících ukazatelů v čase.

Navržené postupy a modely přispívají nejen k teoretickému rozvoji problematiky predikce záručních nákladů, ale mohou také nalézt široké uplatnění v aplikační sféře. O tom svědčí i ohlasy na zveřejněné výsledky disertační práce ze strany mezinárodní vědecké a odborné veřejnosti (viz kapitola Vybrané ohlasy na zveřejněné výsledky disertační práce).

Další přínos práce lze spatřovat v provedené analýze současného stavu v oblasti predikce záručních nákladů, díky níž práce získává charakter uceleného souboru postupů a nástrojů umožňujících praktickou realizaci predikce záručních nákladů u nejpoužívanějších typů jedno a dvourozměrných záruk za jakost.

Práce může najít uplatnění jak v aplikační sféře, jako prakticky použitelný návod pro predikci záručních nákladů, tak i v oblasti vzdělávání, jako studijní materiál pro přípravu studentů v magisterském a doktorském studiu u technických oborů. Tuto skutečnost podtrhuje i fakt, že předložená disertační práce je vůbec první publikací vydanou v ČR, která se systematicky a v takovém rozsahu zabývá problematikou predikce záručních nákladů.

Z hlediska vědního oboru lze disertační práci zařadit do oblasti inženýrství spolehlivosti a do oblasti managementu záruk za jakost.

Seznam použitých zdrojů

- [1] BHARATENDRA, R. – SINGH, N. A modeling framework for assessing the impact of new time/mileage warranty limits on the number and cost of automotive warranty claims. *Reliability Engineering & System Safety*, 2005, vol. 88, p. 157–169. ISSN 0951-8320.
- [2] BIROLINI, A. *Reliability Engineering – Theory and Practice*. 4th ed. Berlin: Springer-Verlag, 2004. ISBN 3-540-40287-X.
- [3] BLISCHKE, W.R. – MURTHY, D.N.P. *Product Warranty Handbook*. 1st ed. New York: Marcel Dekker, 1996. ISBN 0-8247-8955-5.
- [4] BLISCHKE, W.R. – MURTHY, D.N.P. *Warranty Cost Analysis*. 1st ed. New York: Marcel Dekker, 1994. ISBN 0-8247-8911-3.
- [5] CHATTOPADHYAY, G. – RAHMAN, A. Development of lifetime warranty policies and models for estimating costs. *Reliability Engineering & System Safety*, 2008, vol. 93, p. 522–529. ISSN 0951-8320.
- [6] CHEN, T. – POPOVA, E. Maintenance policies with two-dimensional warranty. *Reliability Engineering & System Safety*, 2002, vol. 77, p. 61–69. ISSN 0951-8320.
- [7] CHUKOVA, S. – HAYAKAWA, Y. Warranty cost analysis: quasi-renewal inter-repair times. *International Journal of Quality & Reliability Management*, 2005, vol. 22, p. 687–698. ISSN 0265-671X.
- [8] DANĚK, A. – ŠIROKÝ, J. *Teorie obnovy dopravních prostředků*. 1. vyd. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 1999. ISBN 80-7078-568-3.
- [9] ELSAYED, E.A. *Reliability Engineering*. 1st ed. Reading: Addison Wesley Longman, 1996. ISBN 0-201-63481-3.
- [10] HEBÁK, P. aj. *Vícerozměrné statistické metody (1)*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2004. ISBN 80-7333-025-3.
- [11] HOLUB, R. – VINTR, Z. *Aplikované techniky spolehlivosti. Část 1. – Specifikace požadavků na spolehlivost*. 1. vyd. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2002.
- [12] HOLUB, R. – VINTR, Z. *Základy spolehlivosti*. 1. vyd. Brno: Vojenská akademie v Brně, 2002.
- [13] JACK, N. – MURTHY, D.N.P. – ISKANDAR, B.P. Comments on “Maintenance policies with two-dimensional warranty”. *Reliability Engineering & System Safety*, 2003, vol. 82, p. 105–109. ISSN 0951-8320.
- [14] JACK, N. – ISKANDAR, B.P. – MURTHY, D.N.P. A repair–replace strategy based on usage rate for items sold with a two-dimensional warranty. *Reliability Engineering & System Safety*, 2008, vol. 94, p. 611–617. ISSN 0951-8320.
- [15] JUNG, M. – BAI, D.S. Analysis of field data under two-dimensional warranty. *Reliability Engineering & System Safety*, 2007, vol. 92, p. 135–143. ISSN 0951-8320.
- [16] JURAN, J.M. – GODFREY, A.B. *Juran’s Quality Handbook*. 5th ed. New York: McGraw-Hill, 1999. ISBN 0-07-034003-X.

- [17] KOTLER, P. – KELLER, K.L. *Marketing Management – 12. vydání*. 1. vyd. Praha: Grada, 2007. ISBN: 978-80-247-1359-5.
- [18] KRIVTISOV, V. – FRANKSTEIN, M. Nonparametric Estimation of Marginal Failure Distributions from Dually Censored Automotive Data. In *Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp., 2004*. Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2004, ISBN: 0-7803-8216-1.
- [19] LEGÁT, V. aj. *Systémy managementu jakosti a spolehlivosti v údržbě*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 978-80-02-01949-7.
- [20] MAJESKE, K.D. A non-homogeneous Poisson process predictive model for automobile warranty claims. *Reliability Engineering & System Safety*, 2007, vol. 92, p. 243–251. ISSN 0951-8320.
- [21] MURTHY, D.N.P. – BLISCHKE, W.R. *Warranty Management and Product Manufacture*. 1st ed. London: Springer-Verlag, 2006. ISBN 1-85233-933-0.
- [22] MURTHY, D.N.P. – DJAMALUDIN, I. New product warranty: A literature review. *International Journal of Production Economics*, 2002, vol. 79, p. 231–260. ISSN 0925-5273.
- [23] PHAM, H. *Handbook of Reliability Engineering*. 1st ed. London: Springer-Verlag, 2003. ISBN 1-85233-453-3.
- [24] PRÁŠKOVÁ, Z. - LACHOUT, P. *Základy náhodných procesů*. 1. vyd. Praha: Karolinum, 1998. ISBN 80-7184-688-0.
- [25] RIGDON, S.E. – BASU, A.P. *Statistical Methods for the Reliability of Repairable Systems*. 1st ed. New York: John Wiley & Sons, 2000. ISBN 0-471-34941-0.
- [26] THOMAS, M.U. Quality, Reliability & Warranties: A Tutorial on Understanding and Practice. In *Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp., 2003*. Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2003, ISBN: 0-7803-7718-4.
- [27] VINTR, M. Estimating Warranty Costs in the Initial Stages of Product Life. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference (ESREL 2005)*. London: Taylor & Francis Group, 2005, p. 1995 – 1999. ISBN 0-415-38340-4.
- [28] VINTR, M. Warranty Cost Estimate for Vehicles. In *Proceedings of the second international conference Reliability, safety and diagnostics of transport structures and means 2005*. Pardubice: University of Pardubice, 2005, p. 380 – 387. ISBN 80-7194-769-5.
- [29] VINTR, M. Reliability Assessment for Components of Complex Mechanisms and Machines. In *Proceedings of Twelfth World Congress in Mechanism and Machine Science – IFToMM 2007*. Besançon: Comité Français pour la Promotion de la Science des Mécanismes et des Machines, 2007.
- [30] VINTR, Z. – VINTR, M. Continuous Monitoring of Warranty Costs. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference (ESREL 2005)*. London: Taylor & Francis Group, 2005, p. 1989 – 1993. ISBN 0-415-38340-4.
- [31] VINTR, Z. – VINTR, M. FMEA Used in Assessing Warranty Costs. In *2005 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2005. ISBN 0-7803-8825-9.

- [32] VINTR, Z. – VINTR, M. Estimate of Warranty Costs Based on Research of the Customer's Behavior. In *2007 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2007, p. 327 – 332. ISBN 0-7803-9767-3.
- [33] YANG, G. – ZAGHATI, Z. – KAPADIA, J.A. Sigmoid Process for Modeling Warranty Repairs. In *2005 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2005, ISBN: 0-7803-8825-9.
- [34] ČSN EN 60300-3-3 (01 0690). *Management spolehlivosti – Část 3-3: Pokyn k použití – Analýza nákladů životního cyklu.* Praha: Český normalizační institut, 2005.
- [35] ČSN EN 60812 (01 0675). *Techniky analýzy bezporuchovosti systémů – Postup analýzy způsobů a důsledků poruch (FMEA).* Praha: Český normalizační institut, 2007.
- [36] ČSN EN ISO 9000:2006 (01 0300). *Systémy managementu kvality – Základy, zásady a slovník.* Praha: Český normalizační institut, 2006.
- [37] ČSN IEC 50(191) (01 0102). *Mezinárodní elektrotechnický slovník – Kapitola 191: Spolehlivost a akost' služeb.* Praha: Český normalizační institut, 1993.
- [38] DGA-DM/STTC/CO/477-A. *FIDES Guide 2004 issue A – Reliability Methodology for Electronic Systems.* FIDES Group, 2004.
- [39] IEC/TR 62380. *Reliability Data Handbook – A Universal Model for Reliability Prediction of Electronics Components, PCBs and Equipment.* Geneva: International Electrotechnical Commission, 2004.
- [40] MIL-HDBK-217F. *Military Handbook: Reliability Prediction of Electronic Equipment.* Washington: Department of Defense, 1991.
- [41] MIL-STD-1629A. *Procedures for Performing a Failure Mode, Effects and Criticality Analysis.* Washington: Department of Defense, 1984.
- [42] NSWC-09. *Handbook of Reliability Prediction Procedures for Mechanical Equipment.* West Bethesda: Naval Surface Warfare Center, 2009.
- [43] SAE ARP5580. *Recommended Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) Practices for Non-Automobile Applications.* Warrendale: Society of Automotive Engineers, 2001.
- [44] SAE J1739. *Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA), and Potential Failure Mode and Effects Analysis for Machinery (Machinery FMEA).* Warrendale: Society of Automotive Engineers, 2002.
- [45] UTE C 80-810. *RDF 2000 – Reliability Data Handbook – A Universal Model for Reliability Prediction of Electronics Components, PCBs and Equipment.* Fontenay-aux-Roses: Union Technique de l'Electricité, 2000.
- [46] *Electronic Parts Reliability Data (EPRD-97).* Rome: Reliability Analysis Center (RAC), 1997.
- [47] *Failure Mode/Mechanism Distributions (FMD-97).* Rome: Reliability Analysis Center (RAC), 1998.
- [48] *FIDES Guide 2009 – Reliability Methodology for Electronic Systems.* FIDES Group, 2009.
- [49] *Handbook of 217Plus™ Reliability Prediction Models.* Utica: Reliability Information Analysis Center (RIAC), 2006.

- [50] *Nonelectronic Parts Reliability Data (NPRD-95)*. Rome: Reliability Analysis Center (RAC), 1995.
- [51] 15 U.S.C. §2301 et seq. (United States Code, Title 15: Commerce and Trade, Chapter 50: Consumer Product Warranties) (Magnuson-Moss Warranty Act).
- [52] Směrnice Evropského parlamentu a Rady 1999/44/ES o některých aspektech prodeje spotřebního zboží a záruk na toto zboží.
- [53] Zákon č. 40/1964 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů.
- [54] Zákon č. 513/1991 Sb., obchodní zákoník, ve znění pozdějších předpisů.
- [55] Zákon č. 634/1992 Sb., o ochraně spotřebitele, ve znění pozdějších předpisů.
- [56] Automotive Warranties. *Warranty Week: the Newsletter for Warranty Management Professionals* [online]. 10th July, 2008. [cit. 2009-07-17] Dostupný z: <<http://www.warrantyweek.com/archive/ww20080710.html>>. ISSN 1550-9214.
- [57] Warranty Cost per Vehicle. *Warranty Week: the Newsletter for Warranty Management Professionals* [online]. 16th July, 2008. [cit. 2009-07-17] Dostupný z: <<http://www.warrantyweek.com/archive/ww20080716.html>>. ISSN 1550-9214.
- [58] Worldwide Auto Warranties. *Warranty Week: the Newsletter for Warranty Management Professionals* [online]. 2nd July, 2009. [cit. 2009-07-17] Dostupný z: <<http://www.warrantyweek.com/archive/ww20090702.html>>. ISSN 1550-9214.
- [59] *ISI Web of Knowledge: Web of Science* [online]. [cit. 2009-01-26]. Dostupný z: <<http://apps.isiknowledge.com/>>
- [60] *Reliability HotWire: the eMagazine for the Reliability Professionals* [online]. ReliaSoft Corporation, 1992- [cit. 2009-01-26]. Dostupný z: <<http://weibull.com/hotwire>>.
- [61] *Warranty Week: the Newsletter for Warranty Management Professionals* [online]. Warranty Week, [cit. 2009-01-26]. Dostupný z: <<http://www.warrantyweek.com>>. ISSN 1550-9214.
- [62] *Weibull.com: Reliability Engineering Resource* [online]. ReliaSoft Corporation, 1992- [cit. 2009-07-17]. Dostupný z: <<http://weibull.com>>.
- [63] *STATISTICA Cz* [počítačový program]. Verze 8.0. Praha: StatSoft CR s r.o., 2007. Počítačový program pro analýzu dat.
- [64] *Mathcad* [počítačový program]. Verze 13.0. Cambridge (USA): Mathsoft Engineering & Education, Inc., 2005.

Seznam použitých zkratk a symbolů

Použité zkratky

km	kilometr (jednotka délky)
mo	minimální oprava
úo	úplná oprava
1-D	jednorozměrný
2-D	dvourozměrný
ČR	Česká republika
ČSN	označení Českých technických norem
EN	označení norem vydaných Evropským výborem pro standardizaci (European Committee for Standardization)
EPRD	Data o bezporuchovosti elektronických prvků (Electronic Parts Reliability Data)
EU	Evropská unie (European Union)
FMEA	Analýza způsobů a důsledků poruch (Failure Mode and Effects Analysis)
FMECA	Analýza způsobů, důsledků a kritičnosti poruch (Failure Mode, Effects and Criticality Analysis)
IEC	označení norem vydaných Mezinárodní elektrotechnickou komisí (International Electrotechnical Commission)
ISO	označení norem vydaných Mezinárodní organizací pro standardizaci (International Organization for Standardization)
Kč	Koruna česká (měnová jednotka)
MIL-HDBK	označení norem vydaných Ministerstvem obrany USA (Military Handbook)
MIL-STD	označení norem vydaných Ministerstvem obrany USA (Military Standard)
MTBF	střední doba provozu mezi poruchami (Mean Time Between Failures)
MS	Microsoft
NPRD	Data o bezporuchovosti neelektronických prvků (Nonelectronic Parts Reliability Data)
NSWC	označení norem vydaných Centrem námořních a pozemních sil (Naval Surface Warfare Center)
RAC	Reliability Analysis Center
RIAC	Reliability Information Analysis Center
SAE	označení norem vydaných Společností automobilních inženýrů (Society of Automotive Engineers)
SPIDR	Integrovaný zdroj dat o systémech a prvcích (System and Part Integrated Data Resource)
SRC	System Reliability Center
USA	Spojené státy americké (United States of America)

Použité symboly

Dále jsou uvedeny symboly platné pro celou disertační práci. Symboly s místní platností uvedené v kapitole 3.4.2 „Metodiky predikce bezporuchovosti prvků“ jsou popsány na daném místě.

a	stáří konkrétního produktu (počítané v týdnech)
$c_0(t)$	okamžitá intenzita záručních nákladů
\bar{c}	jednotkové záruční náklady pro celý systém
$f(x)$	funkce hustoty pravděpodobnosti náhodné proměnné X
$f(y)$	funkce hustoty pravděpodobnosti náhodné proměnné Y
$h(x)$	funkce intenzity náhodné proměnné X
i	pořadové označení veličin vztahujících se k identifikovaným poruchám, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání
j	pořadové označení veličin vztahujících se k identifikovaným poruchám, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu
k	počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu
l	pořadové označení reklamace
m	počet identifikovaných poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání
$n(t)$	počet produktů dodaných během doby $\langle 0;t \rangle$
$n(t_2, t_3)$	počet produktů dodaných během doby $\langle t_2;t_3 \rangle$
n_s	počet produktů prodaných v týdnu s
p	konstantní intenzita produkce
$p(t)$	intenzita produkce v době $\langle 0;t \rangle$
r	intenzita provozu
s	pořadí týdne, ve kterém byl konkrétní produkt prodán
t	realizace náhodné proměnné T
t_0	garantovaná kalendářní doba používání (záruční doba u 1-D záruk)
t_1	kalendářní doba používání při dosažení garantované doby provozu
t_2	realizace náhodné proměnné T
t_3	realizace náhodné proměnné T
t_p	doba produkce
t_r	kalendářní doba používání v okamžiku ukončení záruční doby (u 2-D záruky)
u_0	garantovaná doba provozu
u_1	doba provozu při dosažení garantované kalendářní doby používání

$\bar{u}(t)$	střední doba provozu produktu během kalendářní doby používání t
\bar{u}_1	střední doba provozu při dosažení garantované kalendářní doby používání
\bar{u}_w	střední doba provozu produktu v záruce
w	doba od zahájení prodeje produktů počítaná v týdnech
w_0	záruční doba (počítaná v týdnech)
y	realizace náhodné proměnné Y
y_0	záruční intenzita používání
\bar{y}	střední intenzita používání produktu
$z_0(t)$	parametr proudu poruch všech produktů krytých zárukou
$z_C(t)$	parametr proudu poruch všech dodaných produktů
C_b	prodejní cena produktu
C_f	částka vrácená zákazníkovi při vypořádání reklamace
C_{max}	maximální výše záručních nákladů pro celý systém
$C_{R,ws}$	střední hodnota skutečných nákladů vynaložených na vyřízení jedné reklamace v týdnu w u produktů prodaných v týdnu s
C_{ws}	skutečné záruční náklady, které byly vynaloženy v týdnu w a které byly způsobeny produkty prodanými v týdnu s
C_{w*}	suma záručních nákladů, která byla vynaložena v týdnu w na vyřízení reklamací všech dosud prodaných produktů
C_{*s}	suma záručních nákladů, která byla vynaložena do týdne w na vyřízení reklamací všech produktů prodaných v týdnu s
$C_0(t)$	kumulativní záruční náklady
\bar{C}	střední záruční náklady pro celý systém
$\bar{C}(t_0)$	střední záruční náklady připadající na jeden produkt (u 1-D záruky)
$\bar{C}(t_0, u_0)$	střední záruční náklady připadající na jeden produkt (u 2-D záruky)
\bar{C}_C	střední náklady na opravu produktu
\bar{C}_i	střední záruční náklady vztahující se k i -té poruše
\bar{C}_j	střední záruční náklady vztahující se k j -té poruše
\bar{C}_R	střední náklady související s odstraněním jedné poruchy
\bar{C}_{ws}	střední hodnota záručních nákladů, které bude třeba vynaložit v týdnu w a které budou způsobeny produkty prodanými v týdnu s
\bar{C}_{w*}	suma záručních nákladů, která bude muset být vynaložena v týdnu w na vyřízení reklamací všech produktů, které budou prodány od zahájení prodeje až do týdne w

\bar{C}_{*s}	suma záručních nákladů, která bude muset být vynaložena do týdne w na vyřízení reklamaci všech produktů prodaných v týdnu s
D_l	další náklady vynaložené při vyřízení l -té reklamace
\bar{D}_i	střední hodnota dalších nákladů souvisejících s odstraněním i -té poruchy
\bar{D}_j	střední hodnota dalších nákladů souvisejících s odstraněním j -té poruchy
$F(t)$	distribuční funkce náhodné proměnné T
$F(x)$	distribuční funkce náhodné proměnné X
$F(y)$	distribuční funkce náhodné proměnné Y
$F(t_0)$	hodnota distribuční funkce náhodné proměnné T v bodě t_0
$F(t, u)$	sdužená distribuční funkce náhodného vektoru (T, U)
$F(t r)$	podmíněná distribuční funkce
$F^{(n)}(t)$	n -násobná konvoluce distribuční funkce $F(t)$
$F^{(n)}(t, u)$	n -násobná konvoluce sdužené distribuční funkce $F(t, u)$
$F_i^{(n)}(t)$	n -násobná konvoluce distribuční funkce $F_i(t)$
$F_j^{(n)}(u)$	n -násobná konvoluce distribuční funkce $F_j(u)$
$G(r)$	distribuční funkce náhodné proměnné r
I	označení poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na kalendářní době používání
J	označení poruch, jejichž pravděpodobnost vzniku závisí na době provozu
$M(t)$	funkce obnovy přiřazená distribuční funkci $F(t)$
$M(t, u)$	funkce obnovy přiřazená sdužené distribuční funkci $F(t, u)$
$M(t_0 r)$	hodnota podmíněné funkce obnovy v bodě t_0
$M(t_r r)$	hodnota podmíněné funkce obnovy v bodě t_r
M_l	náklady na náhradní díly a materiál spotřebovaný při vyřízení l -té reklamace
\bar{M}_i	střední hodnota nákladů na náhradní díly a materiály nezbytné k odstranění i -té poruchy
\bar{M}_j	střední hodnota nákladů na náhradní díly a materiály nezbytné k odstranění j -té poruchy
$N(t)$	počet poruch v intervalu $\langle 0; t \rangle$
N_{Cws}	skutečný počet reklamací, které se vyskytly v týdnu w u produktů prodaných v týdnu s
N_{w*}	skutečný počet reklamací všech produktů, které byly prodány od zahájení prodeje až do týdne w a které se vyskytly v týdnu w

N_{*s}	skutečný počet reklamací všech produktů, které byly prodány v týdnu s a které se vyskytly od týdne prodeje s až do týdne w
$N_0(t)$	kumulativní počet poruch, které se vyskytly u produktů krytých zárukou
$N_c(t)$	kumulativní počet poruch u všech produktů dodaných za dobu t
\bar{N}	střední počet výskytů všech poruch systému v záruční době
$\bar{N}(t)$	střední počet poruch v intervalu $\langle 0; t \rangle$
$\bar{N}(t_0)$	střední počet poruch produktu v záruční době
$\bar{N}(t, u)$	střední počet poruch v plošném intervalu $\langle 0; t \rangle \times \langle 0; u \rangle$
$\bar{N}(t_0, u_0)$	střední počet poruch produktu v záruční době (u 2-D záruky)
\bar{N}_{Cws}	střední počet reklamací všech produktů, které budou prodány v týdnu s a které se vyskytnou v týdnu w
\bar{N}_i	střední počet výskytů i -té poruchy v záruční době
\bar{N}_j	střední počet výskytů j -té poruchy v záruční době
\bar{N}_{ws}	střední počet reklamací, které se vyskytnou v týdnu w u produktu prodaného v týdnu s
\bar{N}_{w*}	střední počet reklamací všech produktů, které budou prodány od zahájení prodeje až do týdne w a které se vyskytnou v týdnu w
\bar{N}_{*s}	střední počet reklamací všech produktů, které budou prodány v týdnu s a které se vyskytnou od týdne prodeje s až do týdne w
P	pravděpodobnost
P_l	náklady na pracovní kapacitu potřebnou při vyřízení l -té reklamace
\bar{P}_i	střední hodnota nákladů na pracovní kapacitu související s odstraněním i -té poruchy
\bar{P}_j	střední hodnota nákladů na pracovní kapacitu související s odstraněním j -té poruchy
R_l	skutečné náklady související s vyřízením l -té reklamace
\bar{R}_i	střední hodnota nákladů souvisejících s odstraněním i -té poruchy
\bar{R}_j	střední hodnota nákladů souvisejících s odstraněním j -té poruchy
T	kalendářní doba používání
$T(t)$	kumulativní kalendářní doba používání všech produktů
U	doba provozu
X	náhodná proměnná
Y	intenzita používání produktu
α	parametr polohy Weibullova rozdělení náhodné proměnné
β	parametr tvaru Weibullova rozdělení náhodné proměnné

γ_1	poměr garantované doby provozu a garantované kalendářní doby používání
λ	intenzita poruch pro exponenciální rozdělení náhodné proměnné
$\lambda(t)$	intenzita poruch (pro náhodnou proměnnou T)
$\lambda(u)$	intenzita poruch (pro náhodnou proměnnou U)
$\lambda(x)$	intenzita poruch (pro náhodnou proměnnou X)
$\lambda(t r)$	podmíněná intenzita poruch
λ_i	intenzita poruch i -té poruchy při exponenciálním rozdělení náhodné proměnné T
λ_j	intenzita poruch j -té poruchy při exponenciálním rozdělení náhodné proměnné U
$\lambda_i(t)$	intenzita poruch i -té poruchy
$\lambda_j(u)$	intenzita poruch j -té poruchy
μ	parametr polohy Normálního rozdělení náhodné proměnné
μ^*	parametr polohy Log-Normálního rozdělení náhodné proměnné
π	Ludolfovo číslo ($\pi = 3,14159\dots$)
σ	parametr tvaru Normálního rozdělení náhodné proměnné
σ^*	parametr tvaru Log-Normálního rozdělení náhodné proměnné
Δt	přírůstek času
\$	Americký dolar (United States dollar) (měnová jednotka)

Seznam příloh

Příloha č. 1: Tabulka dat získaných průzkumem chování zákazníků

Seznam publikací autora k dané problematice

Seznam je řazen dle data vydání (od nejstarší po nejnovější) a celkem obsahuje 50 publikací.

- 1) VINTR, M. Modelování nákladů na záruky za jakost. In *Matematické modelování spolehlivosti: sborník abstraktů příspěvků semináře*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TU Ostrava, 2004.
- 2) VINTR, M. Odhad záručních nákladů s využitím ukazatelů bezporuchovosti produktu. In *Sborník přednášek 27. mezinárodní konference TD 2004 – DIAGON 2004*. Zlín: Academia centrum UTB ve Zlíně, 2004, s. 73–78. ISBN 80-7318-195-6.
- 3) VINTR, M. Odhad záručních nákladů s ohledem na bezporuchovost produktu. In *Zborník prednášok zo 6. medzinárodnej vedeckej konferencie TRANSFER 2004*. Trenčín: FŠT TU A.D. v Trenčíne, 2004, s. 550–555. ISBN 80-8075-030-0.
- 4) VINTR, Z. – VINTR, M. After-Sales Management of Product Warranty. In *Proceedings of International Engineering Management Conference 2004*. Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2004, p. 199–203. ISBN 0-7803-8519-5.
- 5) VINTR, Z. – VINTR, M. Product Warranty Costs Assessment at Development and Design Phase. In *Sborník přednášek konference Opotřebení, spolehlivost, diagnostika 2004*. Brno: VA v Brně, 2004, s. 173–180. ISBN 80-85960-77-X.
- 6) VINTR, Z. – VINTR, M. Planning a Vehicle Warranty. In *Proceedings of International Conference Transport Means 2004*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2004, p. 9–13. ISBN 9955-09-735-3.
- 7) VINTR, M. Modelování nákladů na záruky za jakost s ohledem na parametry spolehlivosti výrobku. In *Sborník FSI Junior konference 2004*. Brno: FSI VUT v Brně, 2005. ISBN 80-214-2934-8.
- 8) VINTR, Z. – VINTR, M. FMEA Used in Assessing Warranty Costs. In *2005 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2005, p. 331–336. ISBN 0-7803-8825-9.
- 9) VINTR, M. Současné přístupy k predikci bezporuchovosti prvků. In *Sborník přednášek 28. mezinárodní konference TD 2005 – DIAGON 2005*. Zlín: Academia centrum UTB ve Zlíně, 2005, s. 41–46. ISBN 80-7318-293-9.
- 10) VINTR, M. Estimating Warranty Costs in the Initial Stages of Product Life. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference (ESREL 2005)*. London: Taylor & Francis Group, 2005, p. 1995–1999. ISBN 0-415-38340-4.
- 11) VINTR, Z. – VINTR, M. Continuous Monitoring of Warranty Costs. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference (ESREL 2005)*. London: Taylor & Francis Group, 2005, p. 1989–1993. ISBN 0-415-38340-4.
- 12) VINTR, M. Warranty Cost Estimate for Vehicles. In *Proceedings of the second international conference Reliability, safety and diagnostics of transport structures and means 2005*. Pardubice: University of Pardubice, 2005, p. 380–387. ISBN 80-7194-769-5.

- 13) VINTR, Z. – VINTR, M. An Integrated RAMS Program for Systems of Traction Vehicles. In *Proceedings of the second international conference Reliability, safety and diagnostics of transport structures and means 2005*. Pardubice: University of Pardubice, 2005, p. 388–394. ISBN 80-7194-769-5.
- 14) VINTR, M. Současné přístupy k predikci bezporuchovosti prvků. *Automa: časopis pro automatizační techniku*, 2005, roč. 11, č. 7, s. 46–48. ISSN 1210-9592.
- 15) VINTR, M. Odhad záručních nákladů v počátečních etapách života produktu. In *Zborník prednášok 7. medzinárodnej vedeckej konferencie TRANSFER 2005*. Trenčín: FŠT TU A.D. v Trenčíne, 2005, s. 567–572. ISBN 80-8075-070-X.
- 16) VINTR, M. Současné přístupy k predikci bezporuchovosti prvků. *Perspektivy jakosti*, 2005, roč. 2, č. 3, s. 27–31. ISSN 1214-8865.
- 17) VINTR, Z. – VINTR, M. Assessing Warranty Costs for Vehicle and its Parts. In *Proceedings of the 9th International Conference Transport Means 2005*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2005, p. 81–84. ISBN 9955-09-935-6.
- 18) VINTR, Z. – VINTR, M. A Method of Economic Evaluation of Vehicle Reliability. In *Proceedings of the International Conference on Automotive Technology for Vietnam (ICAT 2005)*. Hanoi: Vietnamese Society of Automotive Engineers, 2005, p. 100–104.
- 19) VINTR, M. Warranty Cost Estimate for Vehicles. In *3rd International PhD Conference on Mechanical Engineering – PhD 2005: Book of Abstract*. Pilsen: University of West Bohemia in Pilsen, 2005, p. 163–164. ISBN 80-7043-414-7.
- 20) VINTR, M. Warranty Cost Estimate for Vehicles. In *Proceedings of the XII international scientific-technical conference Trans & MOTAUTO'05+*. Sofia: Scientific-technical Union of Mechanical Engineering, 2005, p. 146–149. ISBN 954-9322-10-6.
- 21) VINTR, Z. – VINTR, M. Reliability and Safety Providing for Railway Applications. In *Proceedings of the XII international scientific-technical conference Trans & MOTAUTO'05+*. Sofia: Scientific-technical Union of Mechanical Engineering, 2005, p. 78–81. ISBN 954-9322-10-6.
- 22) VINTR, M. Warranty Cost Estimate for Vehicles. *Mashinostroene & Elektrotekhnika*, 2005, no. 6, p. 6–9. ISSN 0025-455X.
- 23) VINTR, Z. – VINTR, M. Reliability and Safety Providing for Railway Applications. *Mashinostroene & Elektrotekhnika*, 2005, no. 9, p. 32–35. ISSN 0025-455X.
- 24) VINTR, Z. – VINTR, M. An Integrated Safety and Reliability Program for Systems of Traction Vehicles. In *Proceedings of the 8th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 8)*. New York: ASME, 2006. ISBN 0-7918-0244-2.
- 25) VINTR, Z. – VINTR, M. Decision Making in Two-Dimensional Warranty Planning. In *Proceedings of the 8th International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 8)*. New York: ASME, 2006. ISBN 0-7918-0244-2.
- 26) VINTR, M. Současný stav v oblasti predikce záručních nákladů. In *Sborník konference Statistické dny v Brně*. Brno: FSI VUT v Brně, 2006, s. 59–60. ISBN 80-214-3214-4.

- 27) VINTR, M. Reliability Modelling of Mechatronics Systems. In *Proceeding of 1st International Conference Advances in Mechatronics*. Trenčín: Fakulta Mechatroniky TU A.D. v Trenčíne, 2006, p. 106–110. ISBN 80-8075-112-9.
- 28) VINTR, Z. – VINTR, M. Cost of Two-Dimensional Warranty. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2006 (ESREL 2006)*. London: Taylor & Francis Group, 2006, p. 2377–2382. ISBN 0-415-41620-5.
- 29) VINTR, Z. – VINTR, M. Modeling Warranty Cost Based on Assessment of Product Components Reliability. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2006 (ESREL 2006)*. London: Taylor & Francis Group, 2006, p. 2383–2388. ISBN 0-415-41620-5.
- 30) VINTR, Z. – VINTR, M. A Model of Warranty Cost Time Development. In *TRANSFER 2006*. Trenčín: FŠT TU A.D. v Trenčíne, 2006, s. 605–610. ISBN 80-8075-154-4.
- 31) VINTR, M. Utilization of the Research of the Customer's Behaviour in Warranty Planning. *Transport Means*, 2006, no. 1, p. 60 – 62. ISSN 1822-296-X.
- 32) VINTR, M. Odhad rozsahu provozu vozidla během záruky. In *Sborník konference Opotřebení, spolehlivost, diagnostika 2006*. Brno: Univerzita obrany, 2006, s. 339–344. ISBN 80-7231-165-4.
- 33) VINTR, Z. – VINTR, M. Continuous Monitoring of Warranty Costs. *International Journal of Materials & Structural Reliability*, 2006, vol. 4, no. 2, p. 199–206. ISSN 1685-6368.
- 34) VINTR, Z. – VINTR, M. Estimate of Warranty Costs Based on Research of the Customer's Behavior. In *2007 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2007, p. 327 – 332. ISBN 0-7803-9767-3.
- 35) VINTR, Z. – VINTR, M. Reliability and Safety of Rail Vehicle Electromechanical Systems. In *Proceedings of Twelfth World Congress in Mechanism and Machine Science – IFToMM 2007*. Besançon: Comité Français pour la Promotion de la Science des Mécanismes et des Machines, 2007.
- 36) VINTR, M. Reliability Assessment for Components of Complex Mechanisms and Machines. In *Proceedings of Twelfth World Congress in Mechanism and Machine Science – IFToMM 2007*. Besançon: Comité Français pour la Promotion de la Science des Mécanismes et des Machines, 2007.
- 37) VINTR, Z. – VINTR, M. Influence of Customers Behaviour on Passenger Car Warranty Cost. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2007 (ESREL 2007)*. London: Taylor & Francis Group, 2007, p. 2173–2178. ISBN 978-0-415-44786-7.
- 38) VINTR, Z. – VINTR, M. Analysis of Warranty Cost Time Development. In *Proceedings of the Seventh International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS 2007)*. Beijing: China Astronautic Publishing House, 2007, p. 230–234. ISBN 978-7-80144-682-4.
- 39) VINTR, M. Tools for Reliability Prediction of Systems. In *Proceedings of the Risk, Quality and Reliability Conference 2007 (RQR 2007)*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, 2007, p. 205–210. ISBN 978-80-248-1575-6.

- 40) VINTR, Z. – VINTR, M. Two-Dimensional Warranty Costs Estimation. In *TRANSFER 2007 – The Utilization of the New Knowledge in the Engineering Practice – International Scientific Conference*. Trenčín: Digital Graphic, 2007, p. 475–480. ISBN 978-80-8075-236-1.
- 41) VINTR, Z. – VINTR, M. RAMS Program for Electromechanical Systems of Railway Applications. In *The 2nd IET International Conference on System Safety 2007*. London: Institution of Engineering and Technology, 2007, p. 200–205. ISBN 9780863418631.
- 42) VINTR, M. Úloha záruk za jakost v životním cyklu produktu. In *Sborník semináře Řízení strojírenských podniků 2007*. Otrava: VŠB – TU Ostrava, 2007, s. 116–122. ISBN 978-80-248-1657-9.
- 43) VINTR, Z. – VINTR, M. Safety Management for Electromechanical Systems of Railway Vehicles. In *2008 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2008, p. 155–160. ISBN 1-4244-1461-X.
- 44) VINTR, Z. – VINTR, M. Determination of Parameters of Two-Dimensional Warranty at Limited Level of Warranty Costs. In *Proceedings of the Ninth International Conference on Probabilistic Safety Assessment and Management (PSAM 9)*. Hong Kong: Lammar Offset Printing Limited, 2008, ISBN 978-988-99791-5-7.
- 45) VINTR, M. Metody a nástroje pro odhad bezporuchovosti. In *Sborník konference CQR – REQUEST 2008*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2008, s. 223–232. ISBN 978-80-214-3774-6.
- 46) VALIS, D. – VINTR, Z. – VINTR, M. Reliability Predictions of New Developed Systems. In: *Materialy Szkoły Niezawodności Polska Akademia Nauk (Niezawodność Systemów Antropotechnicznych, XXXVII Zimowa Szkoła Niezawodności)*. Warszawa: Wydział Transportu Polytechniki Warszawskiej, 2009, p. 355–363. ISBN 978-83-7204-737-3.
- 47) VINTR, M. Současné přístupy k predikci bezporuchovosti mechanických a elektronických součástek. In *Partnerství k úspěšnosti (Setkání absolventů kurzů a držitelů certifikátů) – Sborník přednášek*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009, s. 26–30. ISBN 978-80-02-02137-7.
- 48) VINTR, M. Metoda FMECA jako nástroj analýzy bezpečnosti a spolehlivosti komponent systému. In *Analýzy spolehlivosti a bezpečnosti v praxi*. Praha: Česká společnost pro jakost, 2009, s. 35–50. ISBN 978-80-02-02156-8.
- 49) VINTR, Z. – VINTR, M. An Application of FMEA for Warranty Cost Assessment. In *The Proceedings of 2009 8th International Conference on Reliability, Maintainability and Safety (ICRMS'2009)*. Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2009, p. 612–616. ISBN 978-1-4244-4905-7.
- 50) VINTR, Z. – VINTR, M. Tools for Monitoring and Evaluating of Warranty Costs Development. In *Proceedings of the European Safety and Reliability Conference 2009 (ESREL 2009)*. London: Taylor & Francis Group, 2009, p. 2045–2049. ISBN 978-0-415-55509-8.

Vybrané ohlasy na zveřejněné výsledky disertační práce

Publikace:

- VINTR, Z. – VINTR, M. After-Sales Management of Product Warranty. In *Proceedings of International Engineering Management Conference 2004*. Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2004, p. 199–203. ISBN 0-7803-8519-5.

Citována v:

- CHOVANEC, A. *Modelovanie a simulácia diskretných stochastických procesov*. 1. vyd. Trenčín: Trenčianska univerzita A. Dubčeka, 2004. ISBN 80-8075-009-2.
- ŠIROKÝ, P. – MAGA, D. – PETRILÁK J., Increasing the Systems Reliability. *Intellektual'nye sistemy v proizvodstve*, 2007, vol. 1, no. 9, p. 4–10. ISSN 1813-7911.

Publikace:

- VINTR, Z. – VINTR, M. Planning a Vehicle Warranty. In *Proceedings of International Conference Transport Means 2004*. Kaunas: Kaunas University of Technology, 2004, p. 9–13. ISBN 9955-09-735-3.

Citována v:

- CHOVANEC, A. – AMBROZY, A. Optimisation of Maintenance Intervals. *Transport Means*, 2006, no. 1, p. 29–33. ISSN 1822-296-X.

Publikace:

- VINTR, Z. – VINTR, M. Product Warranty Costs Assessment at Development and Design Phase. In *Sborník přednášek konference Opotřebení, spolehlivost, diagnostika 2004*. Brno: VA v Brně, 2004, s. 173–180. ISBN 80-85960-77-X.

Citována v:

- CHOVANEC, A. Optimisation of Material Stock Level. *Transport Means*, 2006, no. 1, p. 34–34. ISSN 1822-296-X.

Publikace:

- VINTR, Z. – VINTR, M. FMEA Used in Assessing Warranty Costs. In *2005 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2005, p. 331–336. ISBN 0-7803-8825-9.

Citována v:

- TAKAI, S. An approach toward target warranty costing in the conceptual design stage. In *2007 Proceedings of ASME International Design Engineering Technical Conferences & Computers and Information in Engineering Conference*. New York: ASME, 2007, vol. 4, p. 741–749. ISBN 0791848051.
- LEBLANC, B. Analysis of Decisions Involved in Offering a Product Warranty. In *2008 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2008, p. 187–192. ISBN 1-4244-1461-X.

Publikace:

- VINTR, M. Warranty Cost Estimate for Vehicles. In *Proceedings of the second international conference Reliability, safety and diagnostics of transport structures and means 2005*. Pardubice: University of Pardubice, 2005, p. 380–387. ISBN 80-7194-769-5.

Citována v:

- LEGÁT, V. aj. *Systémy managementu jakosti a spolehlivosti v údržbě*. 1. vyd. Praha: Česká společnost pro jakost, 2007. ISBN 978-80-02-01949-7.

Publikace:

- VINTR, Z. – VINTR, M. Estimate of Warranty Costs Based on Research of the Customer's Behavior. In *2007 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2007, p. 327–332. ISBN 0-7803-9767-3.

Citována v:

- LEBLANC, B. Analysis of Decisions Involved in Offering a Product Warranty. In *2008 Proc. Ann. Reliability & Maintainability Symp.* Piscataway: Institute of Electrical & Electronics Engineers, 2008, p. 187–192. ISBN 1-4244-1461-X.

Publikace:

- VINTR, M. Reliability Assessment for Components of Complex Mechanisms and Machines. In *Proceedings of Twelfth World Congress in Mechanism and Machine Science – IFTOMM 2007*. Besançon: Comité Français pour la Promotion de la Science des Mécanismes et des Machines, 2007.

Citována v:

- RAHNAMAEE, A. et al. Reliability Consideration for a High Power Zero-Voltage-Switching Flyback Power Supply. In *2008 13th International Power Electronics and Motion Control Conference (EPE-PEMC 2008)*. Poznan: PTETiS, 2008, p. 365–371. ISBN 978-1-4244-1742-1.
- AZZOPARDI, S. et al. Etude prédictive de la fiabilité de l'électronique de puissance embarquée: projet CEPIA1. In *Actes du XIIème colloque Electronique de Puissance du Futur*. Tours: Université François-Rabelais, 2008.

Publikace:

- VINTR, M. Tools for Reliability Prediction of Systems. In *Proceedings of the Risk, Quality and Reliability Conference 2007 (RQR 2007)*. Ostrava: VSB – Technical University of Ostrava, 2007, p. 205–210. ISBN 978-80-248-1575-6.

Citována v:

- PEIRAVI, A. Redundancy for Reliability Growth of Electronic Systems under Various Operating Conditions. *Journal of Applied Sciences*, 2009, vol. 9, no. 16, p. 2941–2947. ISSN 1812-5654.

PŘÍLOHA Č. 1

TABULKA DAT ZÍSKANÝCH PRŮZKUMEM CHOVÁNÍ ZÁKAZNÍKŮ

Tabulka dat získaných průzkumem chování zákazníků

Jednotlivé sloupce tabulky obsahují následující údaje:

Pořadové číslo: Udává pořadové číslo údaje. Data jsou seřazena vzestupně podle data uvedení do provozu a následně podle celkového počtu najetých kilometrů.

Datum uvedení do provozu: Udává datum (měsíc a rok), kdy bylo vozidlo uvedeno do provozu.

Datum zjišťování: Udává datum (měsíc a rok), kdy byly údaje o vozidle zjištěny.

Počet celkem najetých km: Udává zjištěný počet kilometrů najetých od uvedení do provozu do okamžiku zjišťování.

Průměrný počet km najetých za rok: Udává vypočtenou intenzitu používání ve formě průměrného počtu najetých kilometrů za jeden rok používání vozidla.

Poznámka k uvedeným údajům:

Údaje uvedené v tabulce byly zjištěny dotazováním (osobním nebo zprostředkovaným) majitelů jednotlivých vozidel v různých částech ČR. Vzhledem k faktu, že informace o datu uvedení do provozu se vyskytovaly v různých formách (datum registrace v technickém průkazu, datum koupě...), případně bylo datum známo pouze přibližně, nebylo při zpracování uvažováno přesné datum, ale pouze měsíc uvedení do provozu. S přihlédnutím k uvedenému, byl také u data zjišťování uveden pouze měsíc zjišťování. V případě počtu najetých kilometrů byl v mnoha případech možný přesný odečet najetých kilometrů, ale v některých případech byl k dispozici pouze přibližný (zaokrouhlený) odhad majitele vozidla. Uvedená zjednodušení však pro potřebu řešení zcela postačují.

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
1	1/2003	9/2008	58 400	10 306
2	2/2003	9/2008	102 550	18 367
3	2/2003	9/2008	137 800	24 681
4	2/2003	9/2008	163 000	29 194
5	3/2003	9/2008	49 000	8 909
6	3/2003	9/2008	71 000	12 909
7	3/2003	9/2008	80 000	14 545
8	3/2003	9/2008	92 200	16 764
9	3/2003	9/2008	138 500	25 182
10	4/2003	9/2008	55 000	10 154
11	4/2003	9/2008	97 300	17 963
12	4/2003	9/2008	125 000	23 077
13	4/2003	9/2008	143 000	26 400
14	4/2003	9/2008	182 100	33 618

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
15	5/2003	9/2008	79 000	14 813
16	5/2003	9/2008	80 000	15 000
17	5/2003	9/2008	96 000	18 000
18	5/2003	9/2008	100 000	18 750
19	5/2003	9/2008	114 200	21 413
20	6/2003	9/2008	56 550	10 771
21	6/2003	9/2008	76 000	14 476
22	6/2003	9/2008	89 000	16 952
23	6/2003	9/2008	94 900	18 076
24	6/2003	9/2008	115 427	21 986
25	7/2003	9/2008	88 972	17 220
26	7/2003	9/2008	120 000	23 226
27	8/2003	9/2008	137 988	27 145
28	9/2003	9/2008	31 100	6 220
29	9/2003	9/2008	58 600	11 720
30	9/2003	9/2008	69 728	13 946
31	9/2003	9/2008	87 824	17 565
32	9/2003	9/2008	117 610	23 522
33	9/2003	9/2008	174 000	34 800
34	10/2003	9/2008	58 000	11 797
35	10/2003	9/2008	72 000	14 644
36	10/2003	9/2008	98 000	19 932
37	10/2003	9/2008	105 881	21 535
38	11/2003	9/2008	83 088	17 191
39	11/2003	9/2008	97 679	20 209
40	11/2003	9/2008	199 900	41 359
41	12/2003	9/2008	61 344	12 915
42	12/2003	9/2008	86 500	18 211
43	12/2003	9/2008	100 800	21 221
44	12/2003	9/2008	133 150	28 032
45	1/2004	9/2008	66 500	14 250
46	1/2004	9/2008	82 800	17 743
47	1/2004	9/2008	83 300	17 850
48	1/2004	9/2008	100 500	21 536
49	2/2004	9/2008	56 500	12 327
50	2/2004	9/2008	59 999	13 091
51	2/2004	9/2008	63 550	13 865
52	2/2004	9/2008	67 111	14 642
53	2/2004	9/2008	89 000	19 418

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
54	2/2004	9/2008	122 535	26 735
55	2/2004	9/2008	128 000	27 927
56	3/2004	9/2008	45 000	10 000
57	3/2004	9/2008	47 000	10 444
58	3/2004	9/2008	51 050	11 344
59	3/2004	9/2008	52 418	11 648
60	3/2004	9/2008	53 176	11 817
61	3/2004	9/2008	70 588	15 686
62	3/2004	9/2008	77 850	17 300
63	3/2004	9/2008	81 010	18 002
64	3/2004	9/2008	87 127	19 362
65	3/2004	9/2008	89 700	19 933
66	3/2004	9/2008	93 200	20 711
67	3/2004	9/2008	103 500	23 000
68	3/2004	9/2008	108 000	24 000
69	3/2004	9/2008	126 000	28 000
70	4/2004	9/2008	28 199	6 385
71	4/2004	9/2008	57 014	12 909
72	4/2004	9/2008	58 200	13 177
73	4/2004	9/2008	58 602	13 268
74	4/2004	9/2008	60 000	13 585
75	4/2004	9/2008	62 000	14 038
76	4/2004	9/2008	68 983	15 619
77	4/2004	9/2008	87 000	19 698
78	4/2004	9/2008	114 800	25 992
79	4/2004	9/2008	150 000	33 962
80	4/2004	9/2008	159 678	36 154
81	5/2004	9/2008	22 000	5 077
82	5/2004	9/2008	33 000	7 615
83	5/2004	9/2008	66 779	15 411
84	5/2004	9/2008	76 650	17 688
85	5/2004	9/2008	80 300	18 531
86	5/2004	9/2008	83 200	19 200
87	5/2004	9/2008	92 889	21 436
88	5/2004	9/2008	103 400	23 862
89	5/2004	9/2008	125 000	28 846
90	5/2004	9/2008	126 060	29 091
91	5/2004	9/2008	150 000	34 615
92	5/2004	9/2008	156 400	36 092

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
93	5/2004	9/2008	239 000	55 154
94	6/2004	9/2008	29 800	7 012
95	6/2004	9/2008	45 600	10 729
96	6/2004	9/2008	48 902	11 506
97	6/2004	9/2008	54 600	12 847
98	6/2004	9/2008	55 603	13 083
99	6/2004	9/2008	64 000	15 059
100	6/2004	9/2008	64 500	15 176
101	6/2004	9/2008	67 398	15 858
102	6/2004	9/2008	70 620	16 616
103	6/2004	9/2008	85 000	20 000
104	6/2004	9/2008	119 980	28 231
105	6/2004	9/2008	120 000	28 235
106	6/2004	9/2008	125 000	29 412
107	6/2004	9/2008	155 700	36 635
108	6/2004	9/2008	224 000	52 706
109	7/2004	9/2008	39 150	9 396
110	7/2004	9/2008	40 790	9 790
111	7/2004	9/2008	46 379	11 131
112	7/2004	9/2008	49 800	11 952
113	7/2004	9/2008	64 150	15 396
114	7/2004	9/2008	78 000	18 720
115	7/2004	9/2008	82 000	19 680
116	7/2004	9/2008	163 632	39 272
117	7/2004	9/2008	174 600	41 904
118	7/2004	9/2008	196 000	47 040
119	8/2004	9/2008	32 690	8 006
120	8/2004	9/2008	47 600	11 657
121	8/2004	9/2008	57 000	13 959
122	8/2004	9/2008	60 927	14 921
123	8/2004	9/2008	72 373	17 724
124	8/2004	9/2008	82 500	20 204
125	8/2004	9/2008	89 062	21 811
126	8/2004	9/2008	104 435	25 576
127	8/2004	9/2008	124 500	30 490
128	8/2004	9/2008	150 631	36 889
129	8/2004	9/2008	155 600	38 106
130	8/2004	9/2008	156 000	38 204
131	8/2004	9/2008	207 000	50 694

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
132	9/2004	9/2008	42 606	10 652
133	9/2004	9/2008	45 111	11 278
134	9/2004	9/2008	50 000	12 500
135	9/2004	9/2008	56 590	14 148
136	9/2004	9/2008	68 186	17 047
137	9/2004	9/2008	80 961	20 240
138	9/2004	9/2008	83 618	20 905
139	9/2004	9/2008	89 600	22 400
140	9/2004	9/2008	99 337	24 834
141	9/2004	9/2008	123 456	30 864
142	9/2004	9/2008	134 048	33 512
143	9/2004	9/2008	150 000	37 500
144	9/2004	9/2008	168 500	42 125
145	10/2004	9/2008	39 600	10 111
146	10/2004	9/2008	39 900	10 187
147	10/2004	9/2008	60 300	15 396
148	10/2004	9/2008	62 500	15 957
149	10/2004	9/2008	89 987	22 975
150	10/2004	9/2008	133 660	34 126
151	10/2004	9/2008	188 000	48 000
152	11/2004	9/2008	41 511	10 829
153	11/2004	9/2008	42 590	11 110
154	11/2004	9/2008	49 885	13 013
155	11/2004	9/2008	76 730	20 017
156	11/2004	9/2008	85 579	22 325
157	11/2004	9/2008	88 600	23 113
158	11/2004	9/2008	118 486	30 909
159	11/2004	9/2008	187 000	48 783
160	12/2004	9/2008	57 500	15 333
161	12/2004	9/2008	57 800	15 413
162	12/2004	9/2008	59 900	15 973
163	12/2004	9/2008	61 430	16 381
164	12/2004	9/2008	65 969	17 592
165	12/2004	9/2008	120 000	32 000
166	12/2004	9/2008	132 500	35 333
167	12/2004	9/2008	137 000	36 533
168	12/2004	9/2008	168 000	44 800
169	12/2004	9/2008	199 800	53 280
170	1/2005	9/2008	58 000	15 818

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
171	1/2005	9/2008	63 700	17 373
172	1/2005	9/2008	72 001	19 637
173	1/2005	9/2008	78 915	21 522
174	1/2005	9/2008	82 500	22 500
175	1/2005	9/2008	135 000	36 818
176	1/2005	9/2008	243 000	66 273
177	2/2005	9/2008	37 000	10 326
178	2/2005	9/2008	37 558	10 481
179	2/2005	9/2008	43 400	12 112
180	2/2005	9/2008	49 890	13 923
181	2/2005	9/2008	63 000	17 581
182	2/2005	9/2008	66 650	18 600
183	2/2005	9/2008	83 500	23 302
184	2/2005	9/2008	91 500	25 535
185	2/2005	9/2008	98 828	27 580
186	2/2005	9/2008	124 780	34 822
187	2/2005	9/2008	132 112	36 868
188	2/2005	9/2008	157 217	43 875
189	3/2005	9/2008	40 695	11 627
190	3/2005	9/2008	41 877	11 965
191	3/2005	9/2008	57 800	16 514
192	3/2005	9/2008	66 480	18 994
193	3/2005	9/2008	67 000	19 143
194	3/2005	9/2008	73 070	20 877
195	3/2005	9/2008	87 000	24 857
196	3/2005	9/2008	99 000	28 286
197	3/2005	9/2008	139 000	39 714
198	3/2005	9/2008	231 000	66 000
199	4/2005	9/2008	24 500	7 171
200	4/2005	9/2008	67 300	19 698
201	4/2005	9/2008	70 407	20 607
202	4/2005	9/2008	72 649	21 263
203	4/2005	9/2008	76 900	22 507
204	4/2005	9/2008	111 310	32 579
205	4/2005	9/2008	118 143	34 578
206	4/2005	9/2008	163 000	47 707
207	5/2005	9/2008	22 300	6 690
208	5/2005	9/2008	44 500	13 350
209	5/2005	9/2008	45 000	13 500

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
210	5/2005	9/2008	50 300	15 090
211	5/2005	9/2008	71 080	21 324
212	5/2005	9/2008	75 245	22 574
213	5/2005	9/2008	77 137	23 141
214	5/2005	9/2008	77 648	23 294
215	5/2005	9/2008	83 564	25 069
216	5/2005	9/2008	89 150	26 745
217	5/2005	9/2008	99 900	29 970
218	5/2005	9/2008	100 150	30 045
219	5/2005	9/2008	127 990	38 397
220	5/2005	9/2008	134 450	40 335
221	5/2005	9/2008	151 082	45 325
222	5/2005	9/2008	163 000	48 900
223	5/2005	9/2008	188 000	56 400
224	5/2005	9/2008	194 000	58 200
225	6/2005	9/2008	24 405	7 509
226	6/2005	9/2008	43 054	13 247
227	6/2005	9/2008	49 230	15 148
228	6/2005	9/2008	60 821	18 714
229	6/2005	9/2008	101 000	31 077
230	6/2005	9/2008	114 700	35 292
231	6/2005	9/2008	123 000	37 846
232	6/2005	9/2008	134 866	41 497
233	6/2005	9/2008	139 000	42 769
234	6/2005	9/2008	149 850	46 108
235	7/2005	9/2008	42 200	13 326
236	7/2005	9/2008	53 173	16 791
237	7/2005	9/2008	54 956	17 355
238	7/2005	9/2008	73 980	23 362
239	7/2005	9/2008	78 700	24 853
240	7/2005	9/2008	79 363	25 062
241	7/2005	9/2008	81 000	25 579
242	7/2005	9/2008	81 210	25 645
243	7/2005	9/2008	93 000	29 368
244	7/2005	9/2008	104 900	33 126
245	7/2005	9/2008	117 890	37 228
246	7/2005	9/2008	145 800	46 042
247	7/2005	9/2008	150 200	47 432
248	7/2005	9/2008	175 500	55 421

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
249	7/2005	9/2008	185 000	58 421
250	7/2005	9/2008	219 000	69 158
251	8/2005	9/2008	23 000	7 459
252	8/2005	9/2008	30 900	10 022
253	8/2005	9/2008	31 800	10 314
254	8/2005	9/2008	40 500	13 135
255	8/2005	9/2008	44 204	14 336
256	8/2005	9/2008	45 134	14 638
257	8/2005	9/2008	50 000	16 216
258	8/2005	9/2008	52 000	16 865
259	8/2005	9/2008	65 120	21 120
260	8/2005	9/2008	74 000	24 000
261	8/2005	9/2008	76 427	24 787
262	8/2005	9/2008	79 118	25 660
263	8/2005	9/2008	83 196	26 982
264	8/2005	9/2008	84 398	27 372
265	8/2005	9/2008	85 000	27 568
266	8/2005	9/2008	85 788	27 823
267	8/2005	9/2008	95 251	30 892
268	8/2005	9/2008	98 400	31 914
269	8/2005	9/2008	99 533	32 281
270	8/2005	9/2008	107 491	34 862
271	8/2005	9/2008	108 000	35 027
272	8/2005	9/2008	110 705	35 904
273	8/2005	9/2008	114 683	37 194
274	8/2005	9/2008	129 500	42 000
275	8/2005	9/2008	129 800	42 097
276	8/2005	9/2008	160 000	51 892
277	8/2005	9/2008	167 844	54 436
278	9/2005	9/2008	37 150	12 383
279	9/2005	9/2008	40 550	13 517
280	9/2005	9/2008	48 200	16 067
281	9/2005	9/2008	51 400	17 133
282	9/2005	9/2008	60 820	20 273
283	9/2005	9/2008	68 434	22 811
284	9/2005	9/2008	78 950	26 317
285	9/2005	9/2008	87 300	29 100
286	9/2005	9/2008	94 900	31 633
287	9/2005	9/2008	95 613	31 871

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
288	9/2005	9/2008	97 019	32 340
289	9/2005	9/2008	100 185	33 395
290	9/2005	9/2008	106 200	35 400
291	9/2005	9/2008	115 000	38 333
292	9/2005	9/2008	120 800	40 267
293	9/2005	9/2008	125 525	41 842
294	9/2005	9/2008	126 244	42 081
295	9/2005	9/2008	137 715	45 905
296	9/2005	9/2008	147 000	49 000
297	9/2005	9/2008	147 160	49 053
298	9/2005	9/2008	152 829	50 943
299	9/2005	9/2008	189 000	63 000
300	10/2005	9/2008	15 415	5 285
301	10/2005	9/2008	40 800	13 989
302	10/2005	9/2008	66 100	22 663
303	10/2005	9/2008	74 000	25 371
304	10/2005	9/2008	83 000	28 457
305	10/2005	9/2008	87 915	30 142
306	10/2005	9/2008	94 000	32 229
307	10/2005	9/2008	112 977	38 735
308	11/2005	9/2008	29 600	10 447
309	11/2005	9/2008	58 524	20 656
310	11/2005	9/2008	59 993	21 174
311	11/2005	9/2008	67 500	23 824
312	11/2005	9/2008	83 500	29 471
313	11/2005	9/2008	129 000	45 529
314	12/2005	9/2008	23 560	8 567
315	12/2005	9/2008	35 000	12 727
316	12/2005	9/2008	35 386	12 868
317	12/2005	9/2008	52 000	18 909
318	12/2005	9/2008	55 184	20 067
319	12/2005	9/2008	74 900	27 236
320	12/2005	9/2008	80 490	29 269
321	12/2005	9/2008	82 500	30 000
322	12/2005	9/2008	123 138	44 777
323	12/2005	9/2008	172 000	62 545
324	1/2006	9/2008	57 000	21 375
325	1/2006	9/2008	94 901	35 588
326	1/2006	9/2008	110 000	41 250

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
327	1/2006	9/2008	115 000	43 125
328	1/2006	9/2008	153 000	57 375
329	1/2006	9/2008	179 000	67 125
330	2/2006	9/2008	62 000	24 000
331	2/2006	9/2008	140 000	54 194
332	3/2006	9/2008	16 950	6 780
333	3/2006	9/2008	46 000	18 400
334	3/2006	9/2008	52 860	21 144
335	3/2006	9/2008	77 000	30 800
336	3/2006	9/2008	83 000	33 200
337	3/2006	9/2008	149 800	59 920
338	4/2006	9/2008	31 250	12 931
339	4/2006	9/2008	58 900	24 372
340	4/2006	9/2008	61 500	25 448
341	4/2006	9/2008	78 700	32 566
342	4/2006	9/2008	90 000	37 241
343	4/2006	9/2008	126 662	52 412
344	4/2006	9/2008	149 000	61 655
345	5/2006	9/2008	32 390	13 881
346	5/2006	9/2008	32 500	13 929
347	5/2006	9/2008	35 790	15 339
348	5/2006	9/2008	69 000	29 571
349	5/2006	9/2008	75 000	32 143
350	5/2006	9/2008	152 600	65 400
351	6/2006	9/2008	18 560	8 249
352	6/2006	9/2008	26 450	11 756
353	6/2006	9/2008	38 000	16 889
354	6/2006	9/2008	47 617	21 163
355	6/2006	9/2008	68 574	30 477
356	6/2006	9/2008	160 000	71 111
357	7/2006	9/2008	17 471	8 064
358	7/2006	9/2008	18 851	8 700
359	7/2006	9/2008	43 666	20 154
360	7/2006	9/2008	46 000	21 231
361	7/2006	9/2008	50 000	23 077
362	7/2006	9/2008	51 000	23 538
363	7/2006	9/2008	60 000	27 692
364	7/2006	9/2008	80 902	37 339
365	8/2006	9/2008	10 000	4 800

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
366	8/2006	9/2008	19 500	9 360
367	8/2006	9/2008	51 000	24 480
368	8/2006	9/2008	60 118	28 857
369	8/2006	9/2008	64 000	30 720
370	8/2006	9/2008	72 500	34 800
371	8/2006	9/2008	76 845	36 886
372	8/2006	9/2008	165 000	79 200
373	9/2006	9/2008	25 040	12 520
374	9/2006	9/2008	28 001	14 001
375	9/2006	9/2008	51 100	25 550
376	9/2006	9/2008	56 000	28 000
377	9/2006	9/2008	56 250	28 125
378	9/2006	9/2008	63 600	31 800
379	9/2006	9/2008	63 900	31 950
380	9/2006	9/2008	89 500	44 750
381	9/2006	9/2008	109 800	54 900
382	9/2006	9/2008	155 000	77 500
383	10/2006	9/2008	18 000	9 391
384	10/2006	9/2008	19 780	10 320
385	10/2006	9/2008	19 782	10 321
386	10/2006	9/2008	38 700	20 191
387	10/2006	9/2008	99 492	51 909
388	10/2006	9/2008	145 000	75 652
389	11/2006	9/2008	33 000	18 000
390	11/2006	9/2008	40 190	21 922
391	11/2006	9/2008	68 000	37 091
392	11/2006	9/2008	69 785	38 065
393	12/2006	9/2008	48 967	27 981
394	12/2006	9/2008	50 000	28 571
395	12/2006	9/2008	97 800	55 886
396	1/2007	9/2008	8 500	5 100
397	1/2007	9/2008	15 280	9 168
398	1/2007	9/2008	25 000	15 000
399	1/2007	9/2008	51 462	30 877
400	1/2007	9/2008	54 500	32 700
401	1/2007	9/2008	55 000	33 000
402	2/2007	9/2008	16 000	10 105
403	2/2007	9/2008	26 988	17 045
404	2/2007	9/2008	28 794	18 186

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
405	2/2007	9/2008	38 750	24 474
406	2/2007	9/2008	38 875	24 553
407	2/2007	9/2008	96 500	60 947
408	3/2007	9/2008	25 300	16 867
409	3/2007	9/2008	29 400	19 600
410	3/2007	9/2008	39 989	26 659
411	3/2007	9/2008	92 000	61 333
412	4/2007	9/2008	13 600	9 600
413	4/2007	9/2008	17 492	12 347
414	4/2007	9/2008	19 763	13 950
415	4/2007	9/2008	22 425	15 829
416	4/2007	9/2008	26 700	18 847
417	4/2007	9/2008	31 500	22 235
418	4/2007	9/2008	32 360	22 842
419	4/2007	9/2008	32 454	22 909
420	4/2007	9/2008	41 597	29 363
421	4/2007	9/2008	82 600	58 306
422	5/2007	9/2008	5 600	4 200
423	5/2007	9/2008	16 000	12 000
424	5/2007	9/2008	22 500	16 875
425	5/2007	9/2008	24 500	18 375
426	5/2007	9/2008	30 900	23 175
427	5/2007	9/2008	32 800	24 600
428	5/2007	9/2008	33 754	25 316
429	5/2007	9/2008	37 400	28 050
430	5/2007	9/2008	43 049	32 287
431	5/2007	9/2008	46 000	34 500
432	6/2007	9/2008	6 500	5 200
433	6/2007	9/2008	13 782	11 026
434	6/2007	9/2008	14 999	11 999
435	6/2007	9/2008	20 000	16 000
436	6/2007	9/2008	21 495	17 196
437	6/2007	9/2008	24 600	19 680
438	6/2007	9/2008	28 650	22 920
439	6/2007	9/2008	29 500	23 600
440	6/2007	9/2008	32 500	26 000
441	6/2007	9/2008	37 635	30 108
442	7/2007	9/2008	23 795	20 396
443	7/2007	9/2008	29 950	25 671

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
444	8/2007	9/2008	15 174	14 007
445	8/2007	9/2008	19 900	18 369
446	8/2007	9/2008	22 000	20 308
447	8/2007	9/2008	22 060	20 363
448	8/2007	9/2008	25 692	23 716
449	8/2007	9/2008	30 260	27 932
450	8/2007	9/2008	73 997	68 305
451	9/2007	9/2008	8 300	8 300
452	9/2007	9/2008	14 949	14 949
453	9/2007	9/2008	17 500	17 500
454	9/2007	9/2008	23 920	23 920
455	9/2007	9/2008	34 000	34 000
456	9/2007	9/2008	36 583	36 583
457	10/2007	9/2008	12 247	13 360
458	10/2007	9/2008	15 410	16 811
459	10/2007	9/2008	22 068	24 074
460	10/2007	9/2008	24 200	26 400
461	10/2007	9/2008	25 205	27 496
462	10/2007	9/2008	27 922	30 460
463	10/2007	9/2008	28 000	30 545
464	10/2007	9/2008	65 681	71 652
465	11/2007	9/2008	4 000	4 800
466	11/2007	9/2008	8 790	10 548
467	11/2007	9/2008	12 450	14 940
468	11/2007	9/2008	13 710	16 452
469	11/2007	9/2008	16 106	19 327
470	11/2007	9/2008	20 688	24 826
471	11/2007	9/2008	22 900	27 480
472	11/2007	9/2008	25 100	30 120
473	11/2007	9/2008	28 482	34 178
474	11/2007	9/2008	28 730	34 476
475	11/2007	9/2008	29 456	35 347
476	11/2007	9/2008	33 000	39 600
477	11/2007	9/2008	39 500	47 400
478	12/2007	9/2008	11 000	14 667
479	12/2007	9/2008	14 348	19 131
480	12/2007	9/2008	16 277	21 703
481	12/2007	9/2008	17 995	23 993
482	12/2007	9/2008	18 321	24 428

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
483	12/2007	9/2008	18 889	25 185
484	12/2007	9/2008	19 625	26 167
485	12/2007	9/2008	21 895	29 193
486	12/2007	9/2008	24 500	32 667
487	12/2007	9/2008	25 754	34 339
488	12/2007	9/2008	25 911	34 548
489	12/2007	9/2008	26 900	35 867
490	12/2007	9/2008	29 984	39 979
491	1/2008	9/2008	14 990	22 485
492	1/2008	9/2008	25 800	38 700
493	2/2008	9/2008	4 900	8 400
494	2/2008	9/2008	8 250	14 143
495	2/2008	9/2008	11 560	19 817
496	2/2008	9/2008	12 800	21 943
497	2/2008	9/2008	14 400	24 686
498	2/2008	9/2008	18 200	31 200
499	2/2008	9/2008	19 704	33 778
500	2/2008	9/2008	20 229	34 678
501	2/2008	9/2008	21 800	37 371
502	2/2008	9/2008	22 900	39 257
503	2/2008	9/2008	24 200	41 486
504	2/2008	9/2008	24 300	41 657
505	2/2008	9/2008	24 519	42 033
506	2/2008	9/2008	25 500	43 714
507	2/2008	9/2008	26 100	44 743
508	2/2008	9/2008	26 400	45 257
509	2/2008	9/2008	27 700	47 486
510	2/2008	9/2008	27 800	47 657
511	2/2008	9/2008	29 330	50 280
512	2/2008	9/2008	29 700	50 914
513	2/2008	9/2008	30 500	52 286
514	2/2008	9/2008	30 700	52 629
515	2/2008	9/2008	32 000	54 857
516	2/2008	9/2008	32 100	55 029
517	3/2008	9/2008	1 624	3 248
518	3/2008	9/2008	7 227	14 454
519	3/2008	9/2008	9 570	19 140
520	3/2008	9/2008	10 317	20 634
521	3/2008	9/2008	10 700	21 400

Pořadové číslo	Datum uvedení do provozu	Datum zjišťování	Počet celkem najetých km	Průměrný počet km za rok
522	3/2008	9/2008	11 000	22 000
523	3/2008	9/2008	11 730	23 460
524	3/2008	9/2008	13 000	26 000
525	3/2008	9/2008	15 800	31 600
526	3/2008	9/2008	18 878	37 756
527	3/2008	9/2008	19 200	38 400
528	3/2008	9/2008	20 741	41 482
529	3/2008	9/2008	21 509	43 018
530	3/2008	9/2008	24 609	49 218
531	3/2008	9/2008	25 791	51 582
532	3/2008	9/2008	25 850	51 700
533	3/2008	9/2008	26 551	53 102
534	3/2008	9/2008	28 601	57 202
535	3/2008	9/2008	29 996	59 992
536	3/2008	9/2008	30 000	60 000
537	3/2008	9/2008	30 100	60 200
538	3/2008	9/2008	30 500	61 000
539	3/2008	9/2008	32 000	64 000
540	3/2008	9/2008	32 400	64 800
541	3/2008	9/2008	33 280	66 560
542	3/2008	9/2008	33 500	67 000
543	3/2008	9/2008	34 000	68 000
544	4/2008	9/2008	3 200	7 680
545	4/2008	9/2008	6 380	15 312
546	4/2008	9/2008	6 400	15 360
547	4/2008	9/2008	6 660	15 984
548	4/2008	9/2008	8 000	19 200
549	4/2008	9/2008	8 200	19 680
550	4/2008	9/2008	9 900	23 760
551	4/2008	9/2008	10 350	24 840
552	4/2008	9/2008	11 650	27 960
553	5/2008	9/2008	5 500	16 500
554	5/2008	9/2008	6 500	19 500
555	5/2008	9/2008	6 906	20 718